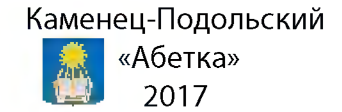
В. И. Соболь

# БИОЛОГИЯ

**Учебник для 9 класса общеобразовательных учебных заведений с обучением на русском языке**

*Рекомендовано Министерством образования и науки Украины*

*Электронная версия учебника*

Каменец-Подольский

«Абетка»
2017

УДК 573
С54

*Рекомендовано Министерством образования и науки Украины*
*(приказ Министерства образования и науки Украины от 20.03.2017 г. № 417)*

**ИЗДАНО ЗА СЧЁТ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ. ПРОДАЖА ЗАПРЕЩЕНА**

Переведено по изданию: *В. І. Соболь. Біологія : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. / В. І. Соболь. – Кам'янець-Подільський : Абетка, 2017. – 288 с. : іл.*

Эксперты, которые выполнили экспертизу данного учебника во время проведения конкурсного отбора проектов учебников для 9 класса общеобразовательных учебных заведений и сделали вывод о целесообразности предоставления учебнику грифа «Рекомендовано Министерством образования и науки Украины»:

**Н. М. Гусева,** методист Запорожского областного института последипломного педагогического образования;

**А. Б. Спрынь,** доцент кафедры биологии человека и иммунологии, кандидат биологических наук, доцент Херсонского государственного университета;

**С. А. Степанов,** преподаватель-методист КВУЗ КОР «Богуславский гуманитарный колледж имени И. С. Нечуя-Левицкого»

**Соболь В. И.**

С54 Биология : учеб. для 9 кл. общеобразоват. учеб. заведений с обучением на рус. яз. / В. И. Соболь. – Каменец-Подольский : Абетка, 2017. – 288 с. : ил.

**ISBN 978-966-682-389-5.**

**УДК 573**

Навчальне видання

**СОБОЛЬ Валерій Іванович**

**БІОЛОГІЯ**

Підручник для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів з навчанням російською мовою

*(Російською мовою)*

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО

В оформленні підручника використано фото та ілюстрації з: *https://unsplash.com; https://www.pexels.com; http://free-stock.photo; http://albumarium.com; http://www.lifeofpix.com; https://pixabay.com; http://www.freestockphotos.biz; http://freeimages.com; https://www.flickr.com; http://www.visipix.com; http://www.dreamstime.com; http://www.freeimages.com; http://openphoto.net; http://www.stockvault.net; http://www.imcreator.com*

Формат 70x100 1/16. Ум. друк. арк. 23,328. Тираж 24 483 пр. Зам. № 379

*ТзОВ «АБЕТКА»*. Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції від 19.06.2001 р. Серія ДК № 495.
32300, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, вул. Князів Коріатовичів, 9а;
Тел./факс: (03849) 2-73-84; моб.: 0984253404, 0501931724, 0673808375;
e-mail: abetka2017@ukr.net, http://abetka.in.ua



ISBN 978-966-682-387-1 (укр.)
ISBN 978-966-682-389-5 (рус.)

## КАК РАБОТАТЬ С УЧЕБНИКОМ?

ЖИЗНЬ! Как многогранно, разнообразно и сложно это понятие! Можно ли изучить жизнь во всем её многообразии? Ответ однозначен. Её можно изучать постигая мудрость жизненных проявлений.

Содержание учебника основывается на принципах продуктивного изучения биологии с использованием компетентностного подхода. Цель учебника – не только дать современные знания. Он поможет сформировать *собственные способы деятельности*, чтобы вы смогли реализовать одну из самых высоких человеческих потребностей – потребность созидать. Материал учебника разделён на темы и отдельные параграфы. Основными частями параграфов учебника являются такие рубрики.



**Вводная часть** содержит эпиграф к параграфу, рубрики ***«Основные понятия и ключевые термины»***, ***«Вспомните!»***, ***«Знакомьтесь!»***, ***«В мире интересного»***, ***«Новости науки»***, ***«Подумайте!»***, а также иллюстративные задания, вводные упражнения, классические эксперименты для формирования мотивации к обучению. Кроме того, представлены задания, иллюстрации, сведения о живой природе, кроссворды.



**«СОДЕРЖАНИЕ»** состоит из материала для усвоения и формирования знаний, умений, навыков, способов деятельности, убеждений. Большими буквами синего цвета выделены **ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ**, организующие важнейшую информацию, а малыми синими буквами – **ключевые термины**, обобщающие какую-то часть информации. Основные понятия и ключевые термины являются обязательными для запоминания в отличие от понятий, представленных *курсивом*. Материал «Содержания» разделён на части, к которым поставлен вопрос, а в конце – обобщающий вывод.



**«ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ»** содержит материал для закрепления, углубления, расширения знаний путем *самостоятельного выполнения задач и создания собственных образовательных продуктов. Это проекты, рисунки, выводы, исследования, полученная информация, презентация, собственные рекомендации* и др. Эта часть содержит темы проектов, творческие задания, межпредметные задачи «Биология + ...» и т. п. Формированию практических и исследовательских умений служат практические работы, исследовательские задачи и лабораторные исследования.



**«ОТНОШЕНИЕ»** содержит задания для формирования мировоззрения, убеждений, эмоционально-оценочных норм относительно природы, жизни, науки, общества, собственного здоровья.



**«РЕЗУЛЬТАТ»** состоит из заданий для закрепления, контроля, коррекции знаний и самооценки учебной деятельности. Они подаются с постепенным усложнением, с указанием уровня их сложности и оценки в баллах. В конце каждой темы приведён блок важнейшей информации, содержащей цитату, таблицу или схему, общий тематический вывод. Всё это подаётся под рубрикой ***«Обобщение темы»***. Для проверки качества усвоения материала темы в рубрике ***«Самоконтроль знаний»*** предлагаются новые тесты.

*Искренне желаем вам успехов в учебе и осуществлении собственных интеллектуальных открытий!*

# ВВЕДЕНИЕ

*Корни наук горьки, но сладки плоды их.*
*П. Буаст*

## § 1. БИОЛОГИЯ КАК НАУКА

**Основные понятия и ключевые термины: БИОЛОГИЯ.**

**Вспомните!** Что изучает биология?

**Подумайте!**

***Томас Гексли*** (1825–1895) – выдающийся английский естествоиспытатель, автор научных трудов по зоологии, сравнительной анатомии, палеонтологии, антропологии. Попробуйте объяснить смысл его высказывания: *«Для человека, который не знает биологии, пребывание среди живой природы будет напоминать посещение художественной галереи, в которой большинство картин обращены к стене».*

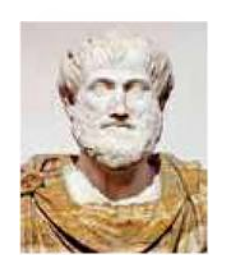




### СОДЕРЖАНИЕ

### Каково значение биологических знаний для человека?

БИОЛОГИЯ (от греч. *биос* – жизнь, *логос* – учение) – наука, изучающая жизнь во всех её проявлениях. «Отцом» биологии называют древнегреческого натурфилософа Аристотеля (384 – 322 гг. до н. э.). Но сам термин «биология» предложил в 1802 г. французский учёный Ж. Б. Ламарк (1744 – 1829).



Ил. 1. Аристотель

*Объектом* биологического познания является ЖИЗНЬ как особая форма существования материи Вселенной, как то, что является *«самым сокровенным на Земле, пока уникальным во Вселенной и самым трудным для понимания»*.

*Предметом* познания биологии являются ***проявления жизни*** во всём разнообразии. Это химические элементы, вещества и реакции живого, строение, процессы жизнедеятельности и поведение организмов, возникновение, развитие и вымирание видов, формирование и изменение группировок, значение биосферы для планеты Земля и многое другое.

*Цель и задачи* современной биологии направлены на получение знаний, необходимых для решения экологических, демографических, экономических, социальных и других проблем, связанных с сохранением природы и биоразнообразия, здоровья и условий существования человека, а также с развитием различных отраслей деятельности человека. Биологические знания помогают человеку формировать мировоз-

зрение, видеть вокруг себя не только красоту бабочки или цветка, но и понимать мудрость её предназначения или гармонию функций и строения. Живая природа щедра. Бактерии, растения и животные дают человеку вкусную еду, удобную одежду, подсказывают конструктивные идеи технического оборудования или процессов. Но человек не всегда разумен в своих поступках. Его активная хозяйственная деятельность привела к значительному загрязнению окружающей среды вредными для всего живого веществами, уничтожению или изуродованию лесов, степей, водоёмов. Мы должны изучать биологию, чтобы научиться гармонично сочетать интересы человека с законами развития природы.

Биологические знания имеют огромное научное и практическое значение для всех отраслей деятельности человека, но наиболее широко их используют в *сельском хозяйстве, промышленности, медицине, технике* и *охране природы*. Без знаний растений и животных не могут обойтись агрономы, зоотехники, зооинженеры, селекционеры, кинологи, ветеринары. Знания организма человека необходимы медсёстрам, фельдшерам, врачам, биоинженерам, психологам. Биология необходима тем, кто хочет работать в фармацевтической промышленности для разработки и производства лекарств. Причиной многих заболеваний являются вирусы и микроорганизмы, и для того чтобы с ними бороться, вирусологам и микробиологам нужно знать особенности их жизнедеятельности. В современных условиях практически на любом производстве нужны экологи. Актуальными становятся профессии биокибернетиков, биоинженеров, нейробиологов, которые применяют принципы сохранения и воспроизведения информации живого для создания технических систем нового поколения. Если вас одновременно привлекают биология и химия – выбирайте профессию биохимика, если биология и архитектура – можете стать ландшафтным дизайнером.

Итак, биологические знания приобретают в обществе всё большее научное и практическое значения, что и обусловило появление утверждения о том, что XXI век является веком биологии.

### Каковы этапы развития биологии?

Важнейшие этапы истории биологии совпадают с изменениями общества. С этих позиций весь длительный путь развития биологии можно разделить на эпохи.

I. ***Эпоха практических донаучных знаний*** – от каменного века до XV–XVI вв. Выдающимися естествоиспытателями этой эпохи были *Аристотель, Теофраст, Гиппократ* в Древней Греции, *Гай Плиний Старший, Клавдий Гален* – в Древнем Риме, *Авиценна* – на Востоке.

II. ***Эпоха возникновения биологии и начала её дифференциации*** – с XV–XVI вв. до середины XIX в. Многие сподвижники науки этой эпохи – *В. Евстахий, Д. Фабриций, К. Варолий* – подробно описали анатомические структуры организма человека и животных, которые и сегодня являются общепризнанными. В когорту знаменитых учёных этого времени входят *У. Гарвей, Р. Гук, К. Линней, Ж. Б. Ламарк, К. Бэр, Л. Пастер, Т. Шванн* и многие другие, благодаря исследованиям которых возникали цитология, физиология, систематика, эмбриология.

III. ***Эпоха синтеза научных биологических знаний*** – с середины XIX – до середины XX в. Исследования учёных этой эпохи направлены на выявление важных биологических законов и правил, формирование обобщающих теорий. Выдающимися биологами эпохи были *Э. Геккель, Г. Мендель, К. Тимирязев, Н. Пирогов, Ф. Мишер, И. Павлов, П. Эрлих, Т. Морган, Н. Вавилов* и др.

IV. ***Эпоха проникновения в биологический микромир*** – биология настоящего и будущего времени. Для более глубокого понимания сущности жизни в биологии возникли и стали развиваться как самостоятельные науки биофизика, биохимия, молекулярная биология, молекулярная генетика и др. Выдающимися учёными этой эпохи являются *Д. Уотсон, Ф. Крик, Х. Корана, П. Медавар, Ф. Бернет* и др.

В становлении биологии как науки важную роль сыграли украинские учёные *И. Мечников* (1845–1916), *А. Ковалевский* (1840–1901), *С. Навашин* (1857–1930), *В. Вернадский* (1863–1945), *И. Шмальгаузен* (1884–1963), *С. Гершензон* (1906–1998), *В. Бец* (1834–1894), *А. Богомолец* (1881–1946), *А. Палладин* (1885–1972) и многие другие.

Итак, биология из описательной дисциплины превращается в экспериментальную и точную науку с возможностями организации сложных исследований.

**Каковы основные отрасли и место биологии среди других наук?**

Современный этап развития биологии называют эпохой проникновения в биологический микромир и раскрытия сути жизненных процессов. Для решения задач этой эпохи современная биология очень тесно сотрудничает со многими другими науками. Для биологических исследований учёные применяют химические, физические, географические, математические и другие знания, благодаря чему возникли и развиваются *биохимия, биофизика, биогеография, биокибернетика, космическая биология, радиобиология, криобиология* и др.

Различные разделы биологии тесно связаны с достижениями естественных (физика, химия, география, астрономия, геология), точных (математика, логика, информатика, кибернетика) и общественных (философия, история) наук. И это даёт свои плоды. Среди важнейших достижений биологии XX века называют открытие пространственной структуры ДНК, генетического кода, стволовых клеток, расшифрование генома различных организмов, что стимулировало развитие многих отраслей деятельности человека.

Современная биология – это наука, являющаяся наиболее разветвлённой частью естествознания. В зависимости от объектов исследований различают *вирусологию, бактериологию, ботанику, зоологию, микологию*. По исследованиям свойств жизни и по уровням организации выделяют молекулярную биологию, цитологию, гистологию, морфологию, генетику, филогению, эволюционное учение, экологию, систематику и др. Достижения этих и многих других наук человек применяет в *медицине, сельском хозяйстве, промышленности*, в деле *охраны природы* и др.

Итак, современная биология – это наука, которая использует новейшие методы и технические средства исследования, направленные на изучение сущности жизни, и тесно связана с другими науками.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление «Основные отрасли биологии»

Сопоставьте проявления жизни с науками, которые их изучают. Заполните табличку ответов и получите имя немецкого ботаника, который независимо от Ж. Б. Ламарка предложил термин «биология».

| | |
|---|---|
| **1** Строение организмов | **Р** Физиология |
| **2** Жизнедеятельность организмов | **Е** Систематика |
| **3** Разнообразие организмов | **Р** Эволюционная биология |
| **4** Влияние низких температур на живое | **Т** Анатомия |
| **5** Пути исторического развития организмов | **С** Генетика |
| **6** Закономерности исторического развития | **И** Филогения |
| **7** Взаимосвязи организмов с окружающей средой | **Н** Биогеография |
| **8** Распространение организмов | **В** Криобиология |
| **9** Поведение организмов | **У** Этология |
| **10** Наследственность и изменчивость организмов | **А** Экология |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |

### Творческое задание «Связь биологии с другими науками»



*Нобелевская премия* учреждена согласно завещанию шведского предпринимателя, изобретателя и филантропа ***Альфреда Нобеля*** (1833 – 1896). В 1895 г. всё своё состояние он передал на финансирование международной премии за выдающиеся научные открытия в нескольких отраслях. Кто из учёных получил Нобелевские премии по физиологии и медицине за последние годы? На примере одного биологического открытия объясните значение связи биологии с другими науками.

### Биология + Английский язык

Переведите отрывок и подготовьте ответ на вопрос.

*Molecular biology, which spans biophysics and biochemistry, has made the most fundamental contributions to modern biology. Much is now known about the structure and action of nucleic acids and protein, the key molecules of all living matter. The discovery of the mechanism of heredity was a major breakthrough in modern science. Another important advance was in understanding how molecules conduct metabolism, that is, how they process the energy needed to sustain life.* Каково значение молекулярной биологии в развитии современной биологии?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что изучает биология? 2. Назовите основные области использования биологических знаний. 3. Что является предметом биологических исследований? 4. Назовите этапы развития биологии. 5. Назовите основные области биологии. 6. С какими другими науками биология имеет тесные связи? |
| 7 – 9 | 7. Каково значение биологических знаний? 8. Назовите этапы развития биологии. 9. Каковы основные отрасли и место современной биологии среди других наук? |
| 10 – 12 | 10. Какое значение для развития биологии имеет её связь с другими естественными и гуманитарными науками? |

*Самым непонятным в этом мире является то, что его можно понять.*
*А. Эйнштейн*

# § 2. БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЗНАНИЕ

**Основные понятия и ключевые термины: БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. Уровни организации жизни. Биологическое познание.**

**Вспомните!** Что такое биологические системы?

**Подумайте!**



Автомобиль (от греч. *автос* – сам и лат. *mobilis* – тот, что движется) – самоходная колёсная машина с двигателем, предназначенная для перевозки людей или грузов по безрельсовым дорогам. Сравните автомобиль как техническую систему с лошадью как биологической системой. Что общего между этими системами и чем они отличаются друг от друга?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы общие особенности биологических систем?

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ – *это совокупность взаимосвязанных структурных и функциональных компонентов, наиболее общими особенностями которых являются открытость, упорядоченность и уровневость*. Предметом современной биологии являются биологические системы различной сложности. Основными типами биологических систем являются клетка, организм, популяция, вид, экосистема и биосфера (*ил. 2*).




Ил. 2. Основные типы биосистем

Общими признаками биосистем являются их организация и связи. ***Структурная организация*** биосистемы определяется составными частями и компонентами. Так, клетки имеют поверхностный аппарат, цитоплазму и ядро, которые образованы определёнными компонентами (например, в цитоплазме имеются органеллы). ***Функциональная организация*** – это слаженная деятельность составных частей биосистемы; она называется функционированием. Целостность биосистем обеспечивают ***внутренние*** и ***внешние*** взаимосвязи компонентов биосистемы между собой и с внешней средой.

Биосистемы имеют ряд особенностей, отличающих их от неживых систем. Однако среди них нет ни одной, которая была бы присуща только живому. Наиболее общими особенностями биосистем являются ***открытость***, ***упорядоченность*** и ***уровневость***, осуществляемые благодаря способности живого к использованию и обмену веществ, энергии и информации. Биосистемы различной сложности имеют механизмы ***саморегуляции*** для сохранения динамической устойчивости, ***самообновления*** – для образования новых составных частей

вместо повреждённых или утраченных и ***самовоспроизводства*** – для преемственности существования во времени, которые являются их фундаментальными свойствами.

Итак, современное понимание сущности жизни основывается на структурно-функциональном подходе, согласно которому в биосистемах выделяют структурные компоненты, определяющие их функции и связи.

**Каковы принципы взаимодействия уровней организации биологических систем?**

**Уровни организации биосистем** – *это определённый тип взаимодействия структурных и функциональных компонентов биологических систем.* Большинство исследователей выделяют: *молекулярный* (составляющими являются химические элементы и соединения, биохимические реакции), *клеточный* (поверхностный аппарат, цитоплазма и ядро, или нуклеоид, жизненные процессы клеток), *организменный* (клетки, ткани, органы и системы органов организмов), *популяционно-видовой* (организмы одного вида с их взаимоотношениями), *экосистемный* (организмы разных видов, взаимодействующие между собой и с окружающей средой) и *биосферный* (взаимосвязанные экосистемы) (*ил. 3*).




Ил. 3. Уровни организации жизни

Уровни организации биосистем взаимодействуют по ***принципу единства*** и ***иерархии***. Основой единства всех уровней организации биосистем являются проникающие сквозь них потоки веществ, энергии и информации. А принцип иерархии систем заключается в том, что любая система является компонентом системы высшего ранга и, в свою очередь, состоит из подчинённых ей биосистем систем низшего ранга. Так, существование организмов обеспечивается организацией строения и жизнедеятельности на молекулярном и клеточном уровнях, а сами организмы являются компонентами популяционно-видового уровня.

Итак, все уровни организации биосистем взаимосвязаны между собой благодаря триединому потоку веществ, энергии и информации и организованы по принципу иерархии.

**Как организуется биологическое познание?**

**Биологическое познание** – *это организованная деятельность согласно целей и задач, результатом которой являются новые знания о живой природе.* Главная задача биологической науки – построение системы достоверного знания, основанной на фактах и обобщениях, которые можно проверить и подтвердить или опровергнуть. Биология, как и любая другая наука, для накопления и обработки знаний использует такие понятия, как *научный факт, гипотеза, теория, закон.*

***Научный факт*** – наблюдение или эксперимент, которые могут быть воспроизведены и подтверждены (например, лист зелёный).

- ***Гипотеза*** – обоснованное предположение, которое выдвигают для объяснения фактов (например, гипотезы происхождения человека).
- ***Теория*** – обобщение системы фактов, позволяющее делать прогнозы, которые впоследствии подтверждаются (например, клеточная теория).
- ***Закон*** – это закономерности, не имеющие исключений и устанавливающие связи между различными явлениями (например, законы наследственности).

Для познания всего разнообразия биосистем применяют самые разнообразные методы. Общие методы научного познания разделяют на две группы: эмпирические и теоретические. *Методы эмпирического познания* помогают изучать природные объекты, доступные для восприятия (наблюдение, сравнение, измерение, эксперимент). *Методы теоретического познания* – методы, с помощью которых исследователь, не работая непосредственно с природными объектами, приобретает знания путём мыслительных операций (анализ, синтез, абстрагирование, конкретизация, обобщение, аналогия, гомология).

Основными методами биологического познания являются сравнительно-описательный, экспериментальный, моделирование, мониторинг и статистический.

- *Сравнительно-описательный метод* позволяет описывать результаты наблюдений, явления или организмы и сравнивать их с подобным для определения общих и отличительных признаков.
- *Экспериментальный метод* основан на том, что исследователи изменяют строение, функции, поведение объектов исследования и наблюдают за последствиями этих изменений.
- *Мониторинг* – это постоянное наблюдение за состоянием отдельных биологических объектов, ходом определённых процессов в экосистемах или биосфере.
- *Моделирование* – это метод исследования и демонстрации структур, функций, процессов с помощью их упрощённого воспроизведения.
- *Статистический метод* – это метод математической обработки результатов наблюдений или опытов для проверки степени достоверности.

В биологическом познании большое значение имеют направленность и определённость деятельности. Основными подходами к биологическому познанию являются:

- *исторический* – определяет рассмотрение природных объектов и явлений в возникновении и развитии;
- *системный* – ориентирует на изучение биосистемы как единого целого;
- *морфологический* – направляет на изучение формы и строения в взаимосвязях с функциями;
- *физиологический* – организует исследование жизнедеятельности;
- *экологический* – направляет изучение организмов в их взаимосвязях с другими организмами и окружающей средой.

Итак, биологическое познание предполагает деятельность с помощью научных понятий, методов и подходов.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение «Методы биологических исследований»

Укажите использованный в примерах метод биологического исследования:

1. Учащиеся рассмотрели листья двух растений и назвали признаки сходства и отличия.
2. Учёные выяснили, что голуби опытной группы теряют ориентацию, если к ним прикрепляют маленькие магниты, в то время как птицы контрольной группы с ненамагниченными кусочками металла не изменяли правильного направления полёта.
3. Экологи определили, что огромный вред бассейну Днестра наносят загрязнённые пестицидами и нитратами стоки с полей и выбросы промышленного концерна «Хлорвинил».
4. У европейцев частота групп крови такова: I – 46 %, II – 42 %, III – 9 % и IV – 3 %.
5. Учёные используют ртутную каплю в растворе кислоты, которая осуществляет ритмичные движения, для исследования клеточного движения амёбы.

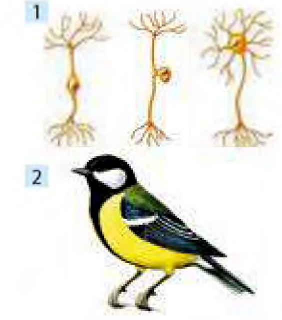
### Самостоятельная работа «Графическое моделирование»

***Моделирование*** (в биологии) – метод исследования биологических объектов познания с помощью их упрощённой имитации путём создания моделей. Используйте приведённые данные и постройте графическую модель изменения численности населения Земли: 1750 г. – 0,5 млрд; 1800 – 1 млрд; 1939 – 2 млрд; 1960 – 3 млрд; 1975 – 4 млрд; 1987 – 5 млрд; 1999 – 6 млрд; 2008 – 6,5; 2011 – 7 млрд; 2016 – 7,43 млрд.



## ОТНОШЕНИЕ

Сравните изображённые биологические системы. Докажите зависимость функционирования биосистем от взаимосвязей между элементами разных уровней.






## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое биосистемы? 2. Назовите основные типы биосистем. 3. Что такое уровни организации биосистем? 4. Назовите основные уровни организации биосистем. 5. Что такое биологическое познание? 6. Назовите методы биологического познания. |
| 7 – 9 | 7. Каковы особенности биосистем? 8. Каковы принципы взаимодействия уровней организации биологических систем? 9. Какое значение имеют методы биологических исследований? |
| 10 – 12 | 10. В чём заключается зависимость функционирования биосистем от взаимосвязей между элементами разных уровней? |









# Тема 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТКИ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ МОЛЕКУЛЫ

***И неживая, и живая природа построена из разных по размеру и составу молекул, а молекулы, в свою очередь, – из атомов.***

*Детская энциклопедия «Аванта +»*

## § 3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТКИ. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

**Основные понятия и ключевые термины:** **ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТКИ.**

**Вспомните!** Что такое уровни организации жизни?

**Подумайте!**

*«Птицы и звери, камни и звёзды – все мы одно... – шипел Змей, раскачиваясь между детьми. – Дети и змеи, звезды и камни – все мы одно...»* – писала английская писательница Памела Линдон Трэверс (1899–1996) в своей детской книге «Мэри Поппинс» (Глава 10. Полнолуние), которая вышла ещё в 1934 г. Как вы думаете, о чём говорится в этом отрывке?



**СОДЕРЖАНИЕ**

### Каков химический состав клетки?

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТКИ** – *совокупность химических элементов и химических веществ, содержащихся в клетке и обеспечивающих её жизнедеятельность или организма в целом.* Условно химический состав клетки можно изучать на элементном и молекулярном уровнях. Наука, изучающая химический состав живого, значение и превращение его компонентов, называется ***биохимией***.

**Элементный состав** определяется химическими элементами, участвующими в жизнедеятельности клетки. Их называют **биоэлементами**. Эти элементы есть и в неживой природе, но в клетках их соотношение весьма устойчиво. Биоэлементы в зависимости от количественного состава делят на органогены, макро- и микроэлементы.

| Химический состав живого | |
|---|---|
| **Элементный состав** | **Молекулярный состав** |
| Биоэлементы: органогены, макроэлементы, микроэлементы | I. Неорганические молекулы (оксиды, кислоты, основания, минеральные соли)<br>II. Органические молекулы (белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты) |

Наибольшее содержание приходится на углерод, кислород, водород и азот, которые являются ***органогенами***. Они отличаются от других малыми размерами и незначительной относительной атомной массой. Именно эти особенности и обусловливают их участие в образовании

многих соединений живого, то есть *структурную функцию*. Так, углерод входит в состав всех органических соединений, азот является частью аминокислот, белков, нуклеиновых кислот, витаминов. К ***макроэлементам*** относят калий, кальций, натрий, магний, железо, являющихся металлами, и фосфор, хлор, серу, являющихся неметаллами. Эти элементы кроме *структурной функции* осуществляют ещё и *регуляторную*. Например, кальций обеспечивает свёртываемость крови, а натрий и калий регулируют транспортирование веществ в клетку и из клетки. ***Микроэлементами*** являются цинк, йод, фтор, медь, марганец, кобальт и др. Эти элементы входят в состав биологически активных веществ (гормонов, ферментов) и выполняют *регуляторную* функцию. Так, йод входит в состав гормонов щитовидной железы, цинк – в состав инсулина.

**Молекулярный состав** живого зависит от наличия в клетках неорганических и органических соединений. Из неорганических веществ в клетке наибольшее содержание приходится на воду и минеральные соли. Органическими веществами клеток являются белки, углеводы, липиды и нуклеиновые кислоты. Подробнее о строении, свойствах и функциях веществ клетки мы узнаем позже.

Итак, основные компоненты химического состава клеток – это биоэлементы, неорганические и органические вещества, выполняющие определённые функции и обеспечивающие жизнедеятельность клеток.

**Следствием каких процессов является изменение химического состава клетки?**

Каждая клетка – это открытая биологическая система, способная к саморегуляции, самообновлению и самовосстановлению. И все эти её фундаментальные процессы осуществляются при помощи химических элементов и молекул, участвующих в превращениях веществ, энергии и информации.

Среди этих процессов значительное место занимают физические процессы (*растворение, кристаллизация, диффузия, излучение и т. д.*) и химические реакции (*реакции соединения, разложения, обмена, замещения*). Клеточные процессы происходят при участии энергии, поэтому выделяют *экзотермические* (энергия выделяется в ходе преобразований) и *эндотермические* (энергия поглощается в ходе преобразований) реакции. Подавляющее большинство реакций в клетках происходит при участии ферментов, являющихся биокатализаторами. Ферменты обеспечивают очень быстрый ход реакций, сами при этом не расходуются и, что очень важно для клетки, регулируют процессы в зависимости от потребностей клетки в веществах и энергии. Основными типами ферментативных реакций являются *реакции синтеза* и *разложения*, *реакции окисления* и *восстановления*. Большинство ферментативных реакций являются специфическими для живой природы и не могут происходить в неживой, что свидетельствует о единстве всего живого на Земле.

Итак, функциональными компонентами химического состава клетки являются физические и химические процессы, обеспечивающие преобразование веществ, энергии и информации.

## Каково биологическое значение неорганических веществ?

Как вы знаете из курса химии, среди неорганических веществ есть простые (состоят из атомов одного элемента) и сложные (состоят из атомов различных элементов). Среди сложных соединений выделяют четыре класса – оксиды, кислоты, основания и соли.

| | |
|---|---|
| **Простые соединения** | *Неметаллы*: $O_2$, $O_3$, $H_2$, $N_2$ и др. *Металлы*: ферум, медь, цинк и др. |
| **Сложные соединения** | *Оксиды*: $CO_2$, $H_2O$, $SO_3$, $N_2O_5$, $P_2O_5$, $H_2O_2$ и др. |
| | Кислоты: $HCl$, $HNO_3$, $H_2SO_4$, $H_2CO_3$, $H_3PO_4$ и др. |
| | Основания: $NaOH$, $Ca(OH)_2$, $Fe(OH)_3$ и др. |
| | *Соли*: нитраты, карбонаты, фосфаты, сульфаты, хлориды |

***Оксиды*** – это сложные соединения элементов с кислородом. Оксиды неметаллов и металлов выполняют в организме определённые жизненно важные функции. Например, оксид водорода $H_2O$ является универсальным растворителем, оксид углерода(IV) $CO_2$ – регулятором дыхания, пероксид водорода $H_2O_2$ и угарный газ $CO$ – токсичными веществами.

***Кислотами*** называются соединения, содержащие в молекулах атомы водорода и кислотные остатки. Особенностями, определяющими биологическое значение кислот, является их способность образовывать при диссоциации анионы $NO_3^-$, $Cl^-$, $SO_4^{2-}$, $CO_3^{2-}$ (участвуют в регуляции процессов) и катионы $H^+$, от концентрации которых зависит кислотность жидкостей организмов. Кислоты входят в состав желудочного сока ($HCl$), нуклеиновых кислот, фосфолипидов клеточных мембран ($H_3PO_4$), растворяют нерастворимые продукты выделения ($H_2SO_4$) и др.

***Основаниями*** называют соединения, в состав которых входят, как правило, атом металла и гидроксильные группы. Щёлочи обладают способностью связывать ионы $H^+$ и участвовать в *регуляции кислотно-щелочного баланса* жидкостей внутренней среды. Свойства оснований имеет и водный раствор аммиака, образующегося как конечный продукт обмена белков и оказывающего отравляющее действие на организм.

***Соли*** являются продуктами замещения атомов водорода в кислотах на атомы металлов. Нерастворимые в воде соли участвуют в построении защитных и опорных образований (например, кальций карбонат и кальций фосфат образуют ракушки, скелеты кораллов, зубы позвоночных). Из *растворимых* солей для организмов наибольшее значение имеют соли, которые образуют катионы натрия, калия, кальция, магния, железа и остатки соляной, серной, азотной кислот. Эти ионы, обеспечивают транспортирование веществ через мембраны клеток, регуляцию работы сердца, проведение возбуждения, активацию ферментов и др.

Итак, в состав организмов входят простые и сложные соединения, выполняющие строительную, регуляторную и другие функции.



### ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

**Задание на применение знаний**

Для конкурса предлагаются задания, в которых фигурируют 12 химических элементов: N, Zn, Cu, Ca, F, Ra, Cl, Fe, Se, I, Mg, Si. Укажите название элемента как ответ на задание, выберите из этого названия указанную букву и получите название науки, изучающей лекарственные вещества и их действие на организм.

**Мини-конкурс «ХИМИЯ ЖИВОГО»**

| | | |
|---|---|---|
| I. | Какой химический элемент в составе эмали придаёт ей прочности? | 1 … |
| II. | Какой элемент является частью костей, раковин моллюсков? | 2 … |
| III. | Какой элемент обусловливает красный цвет крови у позвоночных? | 3 … |
| IV. | От какого элемента зависит зелёный цвет растений? | 1 … |
| V. | Элемент, который накапливается в болотной ряске и применяется для лечения опухолей. | 2 … |
| VI. | Элемент, обусловливающий голубую окраску крови кальмаров. | 1 … |
| VII. | Этот элемент является компонентом желудочного сока. | 3 … |
| VIII. | Элемент назван в честь богини Луны и его много в сетчатке орлов. | 3 … |
| XIX. | Элемент бурых водорослей в составе гормонов щитовидной железы. | 2 … |
| X. | Элемент в составе аминокислот, белков, нуклеиновых кислот, $NH_3$. | 6 … |
| XI. | Какого химического элемента содержится много в клетках хвощей? | 4 … |
| XII. | Плоды рябины, положительно влияющие на кроветворение. | 1 … |

**Биология + Химия**

Укажите названия и химические формулы неорганических соединений, указанных в таблице. Объясните связь биологии с неорганической химией.

**НЕКОТОРЫЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА ЖИВЫХ СУЩЕСТВ, ИХ ЗНАЧЕНИЕ**

| Название | Значение |
|---|---|
| | В составе желудочного сока активирует пищеварительные ферменты |
| | Растворяет продукты обмена для удаления из клеток вместе с водой |
| | Конечный продукт обмена белков, участвует в образовании нитратов |
| | Конечный продукт окисления, источник углерода в фотосинтезе |
| | Является условием клеточного дыхания, конечным продуктом фотосинтеза |
| | Образует защитный экран от пагубного для живого действия «жёсткого» ультрафиолетового излучения |
| | Строение ракушек радиолярий, клеток хвощей, панцирей диатомей |

## ОТНОШЕНИЕ



***Парацельс*** (настоящее имя – Филипп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм) – известный немецкий алхимик, врач эпохи Возрождения. Он считал, что живые организмы состоят из тех же элементов, что и все другие тела природы. Выскажите и обоснуйте суждения о подобии состава и различии в содержании химических элементов в живой и неживой природе.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое химический состав клетки? 2. Что является компонентами элементного состава клеток? 3. Что является компонентами молекулярного состава клеток? 4. Назовите неорганические соединения в составе живого. 5. Приведите примеры функций неорганических соединений живого. 6. Назовите органические вещества, входящие в состав живого. |
| 7 – 9 | 7. Каков химический состав клетки? 8. Следствием каких процессов является изменение химического состава клетки? 9. Каков состав и биологическое значение неорганических соединений живого? |
| 10 – 12 | 10. О чём свидетельствуют сходство состава и различное содержание химических элементов в живой и неживой природе? |

*Cedo nulli (Никому не уступлю).*
*Латинское выражение*

# § 4. ВОДА И ЕЁ СВОЙСТВА

**Основные понятия и ключевые термины: ВОДА. Гидрофильные соединения. Гидрофобные соединения.**

**Вспомните!** Что такое оксиды?

**Знакомьтесь!**

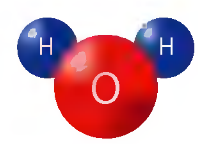
*Антуан де Сент-Экзюпери* (1900–1944) – французский писатель и авиатор. Выдающимся художественным произведением художника (его *Magnum opus*) является сказка «Маленький принц», в которой есть известные всем строки: *«У тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя невозможно описать, тобой наслаждаются не зная, что ты такое. Нельзя сказать, что ты необходима для жизни: ты – сама жизнь».*





## СОДЕРЖАНИЕ

### Какова роль воды?




Ил. 4. Строение молекулы воды

**ВОДА** – *неорганическое вещество, молекулы которого состоят из двух атомов водорода и одного атома кислорода* (*ил. 4*). Содержание воды неодинаково в разных клетках и разных организмах. Больше всего воды содержится в теле медуз (95–98 %), меньше её у насекомых (40–50 %) и лишайниках (5–7 %). Количественно вода занимает первое место среди химических соединений любой клетки. Какие же биологические функции выполняет это самое важное на Земле вещество?

- *Вода – универсальный растворитель* для многих соединений и обеспечивает протекание химических реакций, клеточное транспортирование. По растворимости в воде все соединения делятся на гидрофильные и гидрофобные. **Гидрофильные** (от греч. *гидро* – вода и *филиа* – любовь) **соединения** – *это полярные вещества, которые хорошо растворяются в воде*. Они содержат частично заряжённые группы или частицы, способные взаимодействовать с молекулами воды. Это растворимые кристаллические соли, моносахариды, некоторые аминокислоты, нуклеиновые кислоты, витамин С и др. **Гидрофобные** (от греч. *гидро* – вода и *фобос* – страх) **вещества** – *неполярные вещества, нерастворимые в воде*. Это нерастворимые минеральные соли, липиды, полисахариды, некоторые белки.
- *Вода – реагент*, при участии которого в клетках происходят реакции гидролиза, поддерживается pH среда.
- *Вода – теплорегулятор*, обеспечивающий равномерное распределение теплоты по клетке и всему организму.
- *Вода – осморегулятор* для поддержания постоянной концентрации растворимых соединений (например, солей, моносахаридов) в клетке или организме.

- *Вода – опора*, обеспечивающая упругость клеток, амортизацию механических воздействий.
- *Вода – средство транспортирования* веществ в клетках и организме (например, проводящими тканями у растений или кровеносной системой у животных).
- *Вода как конформатор* участвует в организации пространственной компактной структуры (конформации) макромолекул с помощью молекул, образующих водородные связи.

Итак, наличие воды в клетках и организмах является обязательным условием их жизнедеятельности.

## Какие основные свойства воды определяют её функции?

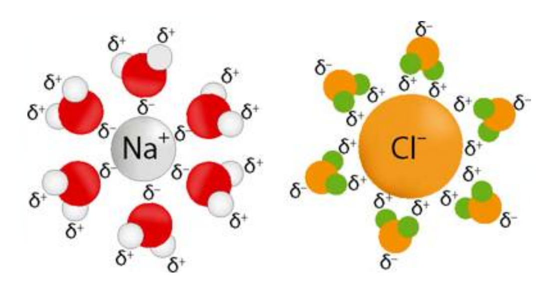
| Основные свойства воды | |
|---|---|
| **Физические свойства** | **Химические свойства** |
| 1. Агрегатное состояние<br>2. Высокая теплоёмкость и теплопроводность<br>3. Поверхностное натяжение<br>4 Несжимаемость<br>5. Текучесть | 1. Взаимодействие с определёнными кислотами, оксидами, основаниями и солями<br>2. Участие в гидролизе органических соединений<br>3. Способность к ионизации |

Вода – единственное вещество на Земле, которое может быть в *трёх агрегатных состояниях*: твёрдом, жидком и газообразном. При нормальных условиях температура замерзания чистой воды равна 0 °С, а кипения – соответственно 100 °С. Максимальная плотность воды при температуре 4 °С равна 1 г/см$^3$. С понижением температуры плотность уменьшается. Когда температура достигает точки замерзания 0 °С или опускается ниже, начинают образовываться мелкие кристаллики льда. При замерзании вода расширяется на $^1/_9$ своего объёма, и эти кристаллики разрушают клетки. Растворение веществ в воде снижает её температуру замерзания. Поэтому в клетках растений для выдерживания низких температур накапливаются углеводы и масла, в клетках членистоногих – глицерол, в крови арктических рыб – особые белки-криопротекторы. Переход воды из жидкого в газообразное состояние требует затрат теплоты, что используется клетками и организмами для защиты от перегревания (например, транспирация у растений, потовыделение у животных). Выделяя нагретую воду и пар, они избавляются от избытка теплоты.

Вода способна поглощать большое количество теплоты с незначительным повышением собственной температуры: в этом суть её *высокой теплоёмкости*. Поэтому в клетках она является прекрасным «тепловым аккумулятором», предотвращая резкие изменения температуры. Вода обладает и *теплопроводностью*, что обеспечивает равномерное и быстрое распределение теплоты в организме.

Воде свойственно исключительно большое *поверхностное натяжение*, что определяется силами сцепления молекул воды между собой с образованием водородных связей. Силы притяжения между молекулами воды способствуют появлению плёнки на её поверхности, по устойчивости уступающей лишь поверхностной плёнке ртути. В живом поверхностное натяжение определяет форму клеток и их отдельных частей (например, при фагоцитозе). Молекулы воды благодаря силам сцепления между собой и с поверхностями, имеющими

электрический заряд, способны «подниматься» тонкими трубчатыми отверстиями. Благодаря этому перемещаются жидкости сквозь поры клеточных стенок, по капиллярам животных и сосудам растений и т. п.




Ил. 5. Расположение молекул воды при растворении поваренной соли

Воде свойственны *высокая упругость* и *несжимаемость*, что обусловливает её значение как опоры. Эти свойства объясняют роль гидроскелета для червей, состояние напряжения в клетках растений, способствуют прохождению звуковых волн по клеткам (например, у дельфинов, кашалотов).

Для клеток большое значение имеют и химические свойства воды. Её амфотерность и способность к диссоциации ($H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$) определяют взаимодействие с основаниями, солями, кислотами и участие в реакциях для поддержания pH цитоплазмы и межклеточных жидкостей (*ил. 5*).

Вода как реагент участвует в биологически важных реакциях разложения соединений с участием воды – реакциях *гидролиза*. Эти реакции являются основой гомеостаза, обмена веществ и превращения энергии. Например, гидролиз солей с образованием кислот или щелочей имеет значение для поддержания pH в биосистемах, гидролиз белков до аминокислот обеспечивает клетки строительным материалом и т. д.

Итак, жизненно важное значение воды определяется её уникальными физико-химическими свойствами.

## Какие особенности строения молекул воды определяют её свойства?

В молекуле воды атомы водорода удерживаются у атома кислорода прочными *ковалентными связями*, благодаря этому вода является очень устойчивым соединением. Водяной пар начинает разлагаться на $O_2$ и $H_2$ при температуре выше 1 000 °C.

В молекуле воды две пары общих электронов смещены к кислороду, поэтому электрический заряд внутри молекул распределён неравномерно: протоны $H^+$ создают положительный заряд на одном полюсе, а пары электронов кислорода – отрицательный заряд на противоположном полюсе. Эти заряды равны по значению и расположены на определённом расстоянии друг от друга. Итак, молекула воды – это постоянный диполь, который может взаимодействовать с носителями положительных и отрицательных зарядов (*дипольность молекул*).

Ил. 6. Водородные связи между молекулами воды

Благодаря полярности соседние молекулы воды могут взаимодействовать между собой и с молекулами полярных веществ с образованием *водородных связей*, которые обусловливают уникальные физические свойства и биологические функции воды (*ил. 6*). Энергия этих связей

составляет всего 4,5 ккал/моль, и благодаря тепловому движению они постоянно возникают и разрываются. ***Водородные связи*** – это связи, которые возникают между частично отрицательным зарядом на атоме кислорода одной молекулы воды и положительным зарядом на атоме водорода другой.

Итак, уникальные свойства воды определяются такими особенностями молекул воды, как: 1) наличие ковалентных связей между атомами; 2) наличие водородных связей между молекулами; 3) дипольность молекул; 4) малые размеры молекул.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Определите содержание воды в организме, для чего используйте следующие данные:

- содержание воды в организме людей разного возраста различно: у новорожденного – 73 %, у подростков – 65 %, у взрослого – 60 %, у пожилого человека – 55 % от массы тела
- около 95 % от общего количества воды в клетках приходится на **свободную воду** (является растворителем) и 5 % – на **связанную воду** (вода в связях с молекулами веществ).

*Задание 1.* Определите содержание воды в собственном организме.

*Задание 2.* Определите содержание свободной и структурированной воды в собственном организме.

Ответьте на вопросы. *Почему содержание воды у человека с возрастом уменьшается? Как это сказывается на жизненных функциях его организма? Почему в клетках большая часть содержимого приходится на свободную воду?*



## ОТНОШЕНИЕ

*«Нет природного тела, которое могло бы сравниться с водой по влиянию на геологические процессы. Не только земная поверхность, но и глубинные части Земли определяются в существенных своих проявлениях существованием и свойствами ВОДЫ»*. Так писал украинский учёный В. Вернадский. Обоснуйте значение воды для жизни на Земле.





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое вода? 2. Что такое гидрофильные и гидрофобные соединения? 3. Назовите основные функции воды. 4. Назовите основные свойства воды. 5. Назовите особенности строения молекул воды. 6. Какие связи обеспечивают взаимодействие молекул воды? |
| 7 – 9 | 7. Объясните жизненно важную роль воды. 8. Какие основные свойства воды определяют её функции? 9. Какие особенности строения молекул воды определяют её свойства? |
| 10 – 12 | 10. Как происходит регуляция содержания воды в живом организме? |

*Где углерод, там разнообразие веществ, где углерод, там самые разнообразные по молекулярной архитектуре конструкции.*

*Энциклопедия юного химика*

# § 5. ОРГАНИЧЕСКИЕ МОЛЕКУЛЫ ЖИВОГО. БИОПОЛИМЕРЫ

**Основные понятия и ключевые термины: ОРГАНИЧЕСКИЕ МОЛЕКУЛЫ ЖИВОГО. Малые биомолекулы. БИОПОЛИМЕРЫ.**

**Вспомните!** Что такое молекулярный состав живого?

## Новости науки



В ноябре 2014 г. на комету Чурюмова – Герасименко (её открыл в 1969 г. украинский учёный Клим Чурюмов в результате изучения фотопластинок, снятых Светланой Герасименко) с космического аппарата «Розетта» впервые совершил посадку модуль «Филы». Он взял образцы почвы, в которых было обнаружено шестнадцать органических соединений, из которых четыре были замечены на кометах впервые. Это ацетамид $CH_3CONH_2$, ацетон $(CH_3)_2CO$, метилизоцианат $CH_3NCO$ и пропиональдегид $CH_3CH_2CHO$. Эти соединения, согласно гипотезе учёных, могли быть исходными соединениями для возникновения биомолекул. Что такое биомолекулы?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы основные особенности биомолекул?

ОРГАНИЧЕСКИЕ МОЛЕКУЛЫ ЖИВОГО, или БИОМОЛЕКУЛЫ, – *это вещества, которые имеют скелеты из ковалентно связанных атомов углерода и синтезируются клетками организмов*. Биомолекулы относятся к органическим соединениям. Их изучают ***биохимия*** и ***молекулярная биология***. Содержание биомолекул в клетках составляет около 30 %. Основная причина их разнообразия – свойства углерода, среди которых выделяют способность атомов соединяться между собой с образованием карбоновых скелетов. Благодаря ковалентным связям биомолекулы достаточно прочны, устойчивы к нагреванию, действию света, воздействию агрессивной химической среды. Карбоновый каркас подвижен, и поэтому цепи способны изгибаться, сворачиваться, могут быть открытыми (линейная форма) и замыкаться в кольца (циклическая форма).

| Основные особенности биомолекул |
| --- |
| 1. Наличие прочных ковалентных связей, обусловливающих длительное существование молекул |
| 2. Наличие слабых нековалентных связей, определяющих структуру и взаимодействие молекул |
| 3. Высокая энергоёмкость |
| 4. Переменная активность |

Биомолекулам свойственны прочные *ковалентные* (например, дисульфидная, пептидная) и слабые *нековалентные* (например, водородная, ионная) химические связи. Эти связи определяют существование биомолекул и их кратковременное взаимодействие между собой.

Благодаря энергии своих связей биомолекулы обладают высокой энергоёмкостью и способностью к *окислению* с выделением большого количества теплоты. Конечными продуктами этого окисления являются $CO_2$, $H_2O$, $NH_3$, удаляемые из клеток.

Химическая активность биомолекул может изменяться, что существенно для выполнения ими своих функций в различных условиях. На активность молекул в клетках влияют ионы металлов (например, ионы магния, железа), некоторые неорганические соединения (например, кислород, углекислый газ), биологически активные вещества (витамины, гормоны и др.).

Биомолекулы имеют относительно большую молекулярную массу, которая измеряется в *дальтонах* (1 дальтон равен $^1/_{12}$ атомной массы углерода). Так, у некоторых нуклеиновых кислот она достигает нескольких миллиардов. По молекулярной массе биомолекулы условно делят на ***малые биомолекулы*** (жирные кислоты, моносахариды, аминокислоты) и ***макробиомолекулы*** (белки, полисахариды, нуклеиновые кислоты).

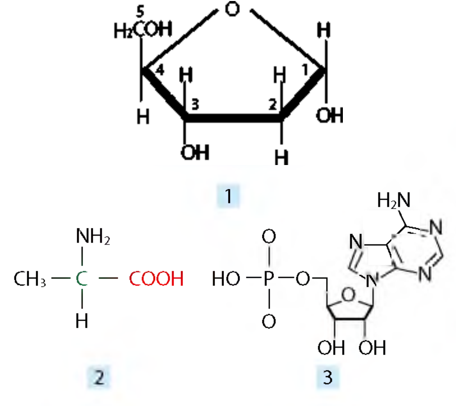
Итак, биомолекулы являются органическими соединениями, синтезируемыми в клетках живых организмов и имеющими ряд особенностей строения и функционирования.

## Каковы особенности и значение малых биомолекул в клетках?

**Малые биомолекулы** – *это молекулы с относительно небольшой молекулярной массой от 100 до 1000 а. е. м., содержащие до 30 атомов углерода.* На долю малых молекул приходится до 5 % от массы клетки. В малых биомолекулах имеются характеристические (функциональные) группы (например, COOH, OH, $NH_2$, $CH_3$), свойства которых и определяют их поведение. Так, аминогруппа $NH_2$ определяет щелочные свойства аминокислот, а карбоксильная группа COOH – кислотные. К малым биомолекулам относятся *жирные кислоты*, *мономерные биомолекулы* (моносахариды, аминокислоты и нуклеотиды) (*ил. 7*), *биорегуляторные молекулы* (гормоны, нейромедиаторы, витамины, алкалоиды), *энергетические биомолекулы* (АТФ, ГТФ).

Малые биомолекулы содержатся в свободном состоянии в цитоплазме клетки и благодаря диффузии могут быстро перемещаться, что делает их незаменимыми в процессах передачи информации и саморегуляции клеток и организма. Так, гормоны осуществляют гуморальную регуляцию процессов, нейромедиаторы – передают информацию между нейронами.

Малые биомолекулы довольно часто выполняют роль простых




Ил. 7. Примеры малых биомолекул, являющихся мономерами: 1 – моносахарид рибоза; 2 – аминокислота аланин; 3 – адениловый нуклеотид

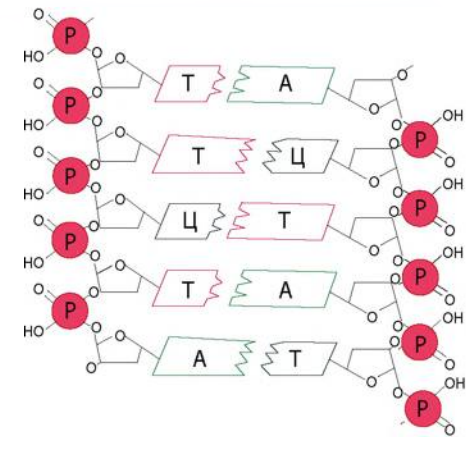
соединений, из которых образуются сложные, т. е. являются мономерами. Например, из аминокислот образуются белки, из моносахаридов – полисахариды, а из нуклеотидов – нуклеиновые кислоты.

Малые биомолекулы не только участвуют в образовании макромолекул, но и могут распадаться с высвобождением энергии. Так, при расщеплении 1 г глюкозы высвобождается 17,6 кДж, а во время гидролиза 1 моль АТФ до АДФ – около 40 кДж.

Итак, основными функциями малых молекул в клетках являются: ***строительная*** (участие мономеров в реакциях синтеза сложных молекул), ***энергетическая*** (распад с высвобождением энергии), ***регуляторная*** (участие в регуляции процессов жизнедеятельности клеток и организма) и ***информационная*** (межклеточная передача информации).

## Каково значение биологических макромолекул, или биополимеров?

**БИОПОЛИМЕРЫ** – *это высокомолекулярные органические соединения, состоящие из большого количества одинаковых или разных по химическому строению мономеров и образующиеся в клетках.* К биополимерам относятся белки, полисахариды и нуклеиновые кислоты (*ил. 8*). На их долю приходится около 25 % от массы клетки. Уникальным свойством макромолекул является то, что их мономеры образуют некую структуру (конформацию), которая и определяет их свойства и функции.



Ил. 8. ДНК – биополимер, образованный из нуклеотидов

Биополимеры (от греч. *биос* – жизнь, *поле* – многочисленный, *мерос* – часть) имеют большую молекулярную массу (обычно от 10 000 до 1 млн), поэтому располагаются в ядре или цитоплазме в прикреплённом состоянии или перемещаются очень медленно. Из них образуются хромосомы, клеточные стенки растений, грибов и прокариотов, рибосомы и т. д. (***строительная функция***). Распад макромолекул осуществляется в результате разрыва ковалентных связей при гидролизе с выделением большого количества энергии (***энергетическая функция***). Соединение макромолекул и их взаимодействие осуществляются на основе соответствия поверхности пространственной структуры. Эта информационная особенность называется *структурной комплементарностью*. Так, комплексы фермент/субстрат обеспечивают клеточную регуляцию процессов жизни (***регуляторная функция***), белковые комплексы антиген/антитело являются основой гуморального иммунитета (***защитная функция***). Комплементарность нуклеотидов в построении ДНК обеспечивает их уникальную способность к самоудвоению и передаче наследственной информации следующему поколению (***информационная функция***). Разветвлённость структуры,

большое количество мономеров, инертность молекул способствуют тому, что полисахаридные макромолекулы откладываются в клетках впрок (например, крахмал у растений, гликоген у животных, грибов, архей) (***запасающая функция***).

Итак, макромолекулы имеют ряд особенностей, которые обусловливают выполнение таких функций, как строительная, энергетическая, регуляторная, защитная, информационная и запасающая.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Самостоятельная работа с таблицей

С помощью таблицы сравните малые молекулы и макромолекулы.

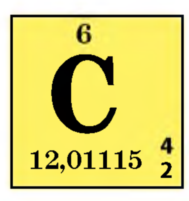
| Признак | Малые молекулы | Макромолекулы |
|---|---|---|
| Содержимое | | |
| Молекулярная масса | | |
| Особенности строения молекул | | |
| Свойства | | |
| Основные группы | | |
| Функции | | |

### Биология + Геометрия




Общим элементом пространственной структуры макромолекул является право- или левозакрученная *спираль*. Эта фигура проявляется и в построении галактик, водоворотов и смерчей, раковин моллюсков, рисунков на пальцах человека, в расположении листьев, цветов и семян растений и т. п. Оцените значение спирали для пространственной организации биологических макромолекул биополимеров.

### Биология + Химия




В Периодической системе элементов Д. И. Менделеева углерод и кремний находятся в одной группе, но по распространению в природе они очень отличаются. Сравните строение этих элементов и предложите объяснение, благодаря чему углерод преобладает в живой природе, а кремний – в неживой.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое биомолекулы? 2. Назовите биомолекулы клетки. 3. Что такое малые биомолекулы? 4. Назовите основные группы малых биомолекул. 5. Что такое биополимеры? 6. Назовите группы биополимеров клеток. |
| 7 – 9 | 7. Каковы основные особенности биомолекул? 8. Назовите особенности и значение малых биомолекул в клетках. 9. Каково значение биологических макромолекул, или биополимеров? |
| 10 – 12 | 10. В чём отличие органических веществ от неорганических? |

*Углеводы, углеводы, из углерода и воды!*
*У всех жителей Природы не выходите вы из моды,*
*И без вас, углеводы, как без кислорода и воды.*
*От автора*

# § 6. УГЛЕВОДЫ: СВОЙСТВА И РОЛЬ

**Основные понятия и ключевые термины: УГЛЕВОДЫ. Моносахариды. Дисахариды. Полисахариды.**

**Вспомните!** Что такое малые молекулы и макромолекулы?

**Подумайте!**

Углеводы являются неотъемлемой химической составляющей частью клеток всех без исключения организмов планеты Земля. Но особенно много этих соединений содержится в растительных клетках – около 80 %, в то время, как в животных клетках – всего около 2 %. По вашему мнению, почему?





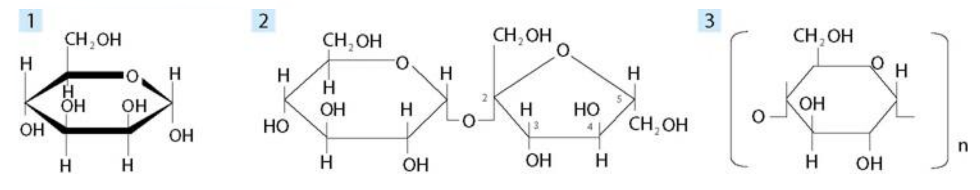
## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы свойства углеводов?

Первые исследованные углеводы имели сладкий вкус, поэтому их ещё часто называют *сахаридами*, или *сахарами*. Это важный компонент организмов, источник их энергии и строительный материал.

В живой природе углеводы являются самыми распространёнными по массе органическими соединениями. Их общая формула – $C_n(H_2O)_m$, откуда и исходное название углеводов (углерод и вода). Некоторые углеводы могут также содержать азот (например, хитин), серу (например, пектины), фосфор и др. Образуются углеводы в клетках автотрофных организмов (растений, цианобактерий, железобактерий) из неорганических соединений в процессе фотосинтеза и хемосинтеза. Гетеротрофные организмы (животные, грибы) образуют углеводы из готовых органических веществ, поступающих с пищей. В живых клетках из углеводов синтезируются аминокислоты, жирные кислоты, витамины. Углеводы могут превращаться в липиды. Следовательно, без преувеличения, углеводы называют основой жизни.

Всем известны такие углеводы, как глюкоза и сахароза (*ил. 9*). Для них характерны растворимость, способность к кристаллизации и сладкий вкус. Но с увеличением молекулярной массы углеводов эти свойства ослабляются и исчезают, например у крахмала.




Ил. 9. Наиболее распространённые углеводы: 1 – моносахарид глюкоза; 2 – дисахарид сахароза; 3 – полисахарид крахмал

Углеводы способны к бескислородному и кислородному расщеплению, что обусловливает их ведущую роль в обеспечении всех клеток энергией. Более $^2/_3$ энергетических потребностей организма удовлетворяется в результате использования углеводов. Продуктами полного расщепления углеводов являются $CO_2$ и $H_2O$.

> Итак, **УГЛЕВОДЫ** (сахара) – органические соединения, в состав которых входят Карбон, водород и кислород.

### Как классифицируют углеводы?

Углеводы по химическому составу могут быть простыми и сложными. *Простые углеводы* образованы в соответствии с общей формулой $C_n(H_2O)_m$, а *сложные углеводы* – вследствие взаимодействия молекул простых углеводов с молекулами липидов, белков, серной кислотой (например, гликолипиды, гликопротеиды). Но чаще всего углеводы, в зависимости от способности к гидролизу, разделяют на три класса: моно-, олиго- и полисахариды.

**Моносахариды** (от греч. *монос* – один) – *это группа углеводов, молекулы которых в своем составе содержат от 3 до 10 атомов углерода*. Это простые углеводы, они не подвергаются гидролизу. По физическим свойствам – это белые кристаллические вещества, сладкие на вкус (самой сладкой является фруктоза: в 5 раз слаще глюкозы), хорошо растворимые в воде.

В биохимии углеводов уже описано более 50 различных природных моносахаридов. Важнейшее значение в живой природе имеют пентозы (молекулы содержат 5 атомов углерода) и гексозы (6 атомов углерода). Из пентоз известны ***рибоза*** и ***дезоксирибоза***, входящие в состав рибонуклеиновых (РНК) и дезоксирибонуклеиновых (ДНК) кислот. В природе наиболее распространёнными гексозами являются ***глюкоза*** (виноградный сахар) и ***фруктоза*** (фруктовый сахар), от содержания которых зависит сладкий вкус ягод, мёда.

**Дисахариды** (от греч. *дуос* – два) – *полимерные углеводы, в которых два остатка моносахаридов соединены ковалентными связями*. Общая химическая формула дисахаридов – $C_{12}H_{22}O_{11}$. При нагревании с водой или под действием ферментов подвергаются гидролизу и разлагаются на две молекулы моносахаридов. Наибольшее значение в живой природе имеют: свекольный сахар – ***сахароза***, молочный сахар – ***лактоза***, солодовый сахар – ***мальтоза***. Дисахариды, как и моносахариды, имеют приятный сладкий вкус, несколько слабее растворяются в воде и кристаллизуются.

| Наиболее распространённые углеводы организмов |
|---|
| I. **Моносахариды**:<br>А. Пентозы: ***рибоза, дезоксирибоза***<br>Б. Гексозы: ***глюкоза, фруктоза*** |
| II. **Дисахариды**: ***сахароза, лактоза, мальтоза*** |
| III. **Полисахариды**: ***крахмал, целлюлоза, хитин, гликоген*** |

**Полисахариды** (греч. *поли* – многочисленный) – *полимерные углеводы, образованные из многих остатков моносахаридов*. Эти соединения под каталитическим влиянием кислот или ферментов-амилаз подвергаются гидролизу с образованием множества моносахаридов.

Молекулярная масса некоторых полисахаридов может достигать нескольких миллионов. Они образуют линейные (например, целлюлоза, или клетчатка) и разветвлённые (например, гликоген) цепи. Полисахариды не кристаллизуются, несладки на вкус, среди них есть нерастворимые в воде (например, целлюлоза, хитин, крахмал), некоторые способны образовывать гели (например, агар, пектины), а некоторые – гидрофильные вещества (например, гликоген). В зависимости от функций полисахариды разделяют на *структурные*, *резервные* и *защитные*.

Итак, углеводы могут классифицировать по химическому составу, способностью к гидролизу и функциями.

### Какова биологическая роль углеводов?

Основными функциями углеводов в жизнедеятельности организмов является структурная (строительная), энергетическая, трофическая, резервная, защитная, рецепторная и регуляторная.

***Структурная функция.*** Полисахариды образуют покровы членистоногих, клеточные стенки грибов (*хитин*) (*ил. 10*), растений (*целлюлоза*), бактерий (муреин), мембраны животных клеток (гликолипиды и гликопротеиды). Молекулы моносахаридов участвуют в образовании нуклеотидов РНК и ДНК (рибоза и дезоксирибоза), олиго- и полисахаридов (глюкоза, галактоза).

***Энергетическая функция.*** Углеводы являются основным источником энергии для клеток. При окислении 1 г углеводов выделяется 17,6 кДж энергии. Это несколько меньше, чем при разложении жиров, но расщепление углеводов идёт быстрее.

***Резервная функция.*** Углеводы откладываются про запас и постепенно потребляются в процессе обмена: у животных и грибов (*гликоген*), у растений (крахмал, ламинарин, инулин).

***Защитная функция.*** Углеводы используются для заживления и защиты ран у растений (камеди и слизи), для склеивания частиц пищи в комочки в составе слюны (муцин), как ингибиторы свёртывания крови (гепарин), для связывания и удаления из организма радионуклидов (пектины).





Ил. 10. Клеточные стенки грибов и экзоскелет раков содержат хитин

***Рецепторная функция.*** Гликолипиды и гликопротеиды участвуют в образовании клеточных мембран и восприятии клеткой раздражений, распознавании и межклеточном взаимодействии и т. п.

***Регуляторная функция.*** При участии углеводов клеточного сока происходят осморегуляторные процессы, которые поддерживают напряжённое (тургорное) состояние растительных клеток.

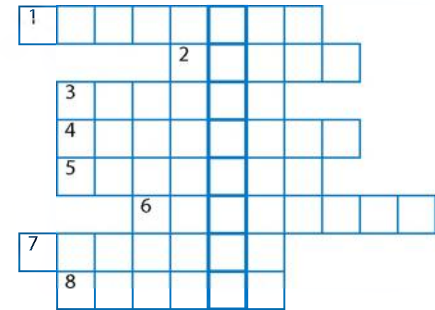
Итак, углеводы являются составной частью всех клеток и обеспечивают жизненно важные функции всех организмов.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Кроссворд «Углеводы»

1. Запасающий полисахарид животных и грибов.
2. Полисахарид, который образует экзоскелет насекомых.
3. Растительный клей.
4. Свекольный сахар.
5. Виноградный сахар.
6. Солодовый сахар.
7. Гормон, регулирующий обмен углеводов.
8. Моносахарид, являющийся частью РНК.




В случае правильного решения кроссворда в выделенных клетках вы получите название химических реакций разложения веществ в присутствии воды с образованием новых молекул.

### Биология + Математика

Названия групп моносахаридов образовывают от греческого названия числительного, соответствующего этому количеству с добавлением окончания *-оза* (триозы, тетрозы, пентозы, гексозы, гептозы, октозы, нанозы, декозы). Сопоставьте приставки, заимствованные из греческих количественных числительных, с арабскими и римскими цифрами.

| | | |
|---|---|---|
| 1 I | 10 Δ | 1000 Χ |
| 2 II | 20 ΔΔ | 2000 ΧΧ |
| 3 III | 50 𐅄 | 5000 𐅆 |
| 4 IIII | 80 𐅄ΔΔΔ | 6000 𐅆Χ |
| 5 Γ | 100 Η | 10,000 Μ |
| 6 ΓI | 300 ΗΗΗ | 20,000 ΜΜ |
| 7 ΓII | 500 𐅅 | 50,000 𐅇 |
| 8 ΓIII | 700 𐅅ΗΗ | 60,000 𐅇Μ |
| 9 ΓIIII | | |

| Пента- | Три- | Тетра- | Гепта- | Гекса- | Окто- | Дека- | Нона- | Ундека- | Додека- |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | | | | | | | | | |
| V | | | | | | | | | |



## ОТНОШЕНИЕ

Приведите примеры пищевых продуктов, содержащих углеводы. Укажите их значение и сделайте вывод о необходимости принятия человеком углеводных пищевых продуктов.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое углеводы? 2. Приведите примеры углеводов. 3. Что такое моносахариды, дисахариды, полисахариды? 4. Приведите примеры и функции моносахаридов. |
| 7 – 9 | 5. Приведите примеры и функции дисахаридов. 6. Приведите примеры и функции полисахаридов. 7. Каковы особенности строения и свойства углеводов? 8. Как классифицируют углеводы? 9. Какова биологическая роль углеводов? |
| 10 – 12 | 10. Обоснуйте необходимость употребления человеком углеводных пищевых продуктов. |

*Липиды, вместе с белками и нуклеиновыми кислотами, являются тремя китами, на которых держится жизнь.*

Детская энциклопедия

# § 7. ЛИПИДЫ: СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ

**Основные понятия и ключевые термины: ЛИПИДЫ. Жирные кислоты. простые липиды. Сложные липиды.**

**Вспомните!** Что такое гидрофобные и гидрофильные соединения?

## Новости науки

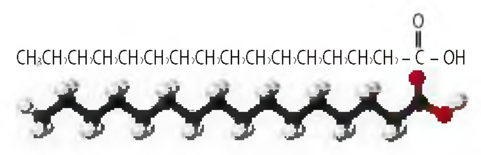
В современной биологии успешно развиваются такие отрасли науки, как ***геномика*** и ***протеомика***. Они изучают, соответственно, генный и белковый состав различных типов клеток. В последнее время существенно возрос научный интерес к липидам: их исследуют не только биохимики, но и физиологи, вирусологи, иммунологи. Вследствие возник новый раздел биохимии – ***липидомика***, изучающая липидный состав клеток. Каково же биологическое значение липидов, входящих в набор основных «молекул жизни»?



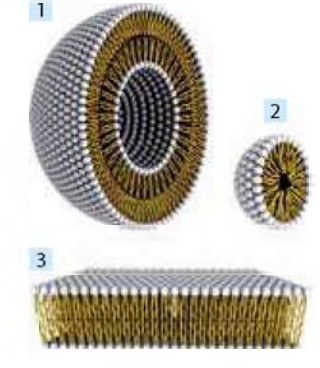
## СОДЕРЖАНИЕ

### Какие свойства липидов определяют их значение?

Липиды (от греч. *липосом* – жир) – это разнообразная по химическому составу группа органических веществ живого. Молекулы липидов могут содержать остатки спиртов, жирных кислот, серной кислоты, углеводов, белков и др. Свойства многих липидов в значительной степени определяются жирными кислотами. **Жирные кислоты** – *это группа малых молекул, которые по химической природе являются одноосновными карбоновыми кислотами*. Общая формуле жирных кислот – $CH_3(CH_2)_nCOOH$. Их молекулы имеют две различные части: длинную углеродную цепь и карбоксильную группу (*ил. 11*). Гидрофобная цепь жирных кислот малоактивна, с водой не взаимодействует, и поэтому вся их химическая активность обусловлена гидрофильной карбоксильной группой. Благодаря таким особенностям жирные кислоты и их производные в воде образуют поверхностные пленки, капли, небольшие шарообразные *мицеллы* и др. (*ил. 12*). Эти комплексы имеют огромное значение для




Ил. 11. Пальмитиновая кислота: химический состав и строение молекулы




Ил. 12. Фосфолипидные образования: 1– липосома; 2 – мицелла; 3 – билипидный слой

организмов, поскольку участвуют в построении клеточных мембран, образуют запасающие включения, обеспечивают усвоение жирорастворимых витаминов, способствуют пищеварению жиров и т. п. На сегодня известно более 800 природных жирных кислот, однако широкое распространение в живой природе получили около 20. Наиболее известны *пальмитиновая* – $CH_3(CH_2)_{14}COOH$ (*см. ил. 11*), *стеариновая* – $CH_3(CH_2)_{16}COOH$, олеиновая – $CH_3(CH_2)_7CH{=}CH\ (CH_2)_7COOH$ и др. Они могут быть насыщенными (не имеющими двойных связей) и ненасыщенными (с двойными связями).

Жирные кислоты участвуют в химических реакциях образования липидов в качестве реагентов и не является мономерами, поэтому липиды – это неполимерные соединения. Большинство липидов (воски, жиры) характеризуются нерастворимостью в воде (гидрофобностью) и растворимостью в неполярных растворителях: эстере, ацетоне, хлороформе, бензене и др. Такие свойства обусловлены отсутствием полярных групп в их молекулах. Другие группы липидов (фосфолипиды, гликолипиды) проявляют двойные амфифильные свойства, так как содержат полярные (гидрофильные головки ортофосфорной кислоты или спирта) и неполярные (цепочка жирной кислоты) группы (*ил. 13*).

Все липиды в организме подвергаются гидролизу под действием специфических ферментов – липаз с образованием жирных кислот.



Ил. 13. Строение молекулы фосфолипида

Итак, **ЛИПИДЫ** – это разнообразные по химическому составу органические соединения живого, общим признаком которых является их неполярность, поэтому они растворяются только в неполярных жидкостях.

## Как классифицируют липиды?

Существует несколько классификаций липидов, среди которых можно выделить классификации по биологическим функциям (резервные и структурные липиды), свойствам (полярные и неполярные липиды) и классификация по структурным особенностям, которая является наиболее распространённой. Согласно ей все липиды делятся на простые и сложные.

**Простые липиды** являются производными жирных кислот и спиртов. Наиболее известные из них – воски и жиры. ***Воски*** – это гидрофобные соединения, в образовании которых участвуют жирные кислоты и одноатомные спирты. Их делят на *животные* (например, спермацет, ланолин, пчелиный воск, китайский воск) и *растительные* (например, кутин, суберин) воски. Эти вещества образуют защитную кутикулу на листьях и плодах, покрывают хитиновую оболочку насекомых и пауков, используются для построения сот пчёлами, увеличивают плавучесть китов и др. ***Жиры*** – это гидрофобные соединения, в образовании которых участвуют жирные кислоты и трёхатомный спирт глицерол. По происхождению жиры делятся на растительные (подсолнечное,

розовое масла, масло какао) и животные (китовый жир, свиной жир, рыбий жир). Они могут быть жидкими (содержат ненасыщенные жирные кислоты) и твёрдыми (содержат насыщенные жирные кислоты). Основная функция жиров – энергетическая.

**Сложные липиды** кроме липидной части содержат и другие вещества. У липопротеидов такими соединениями являются белки, у *фосфолипидов* – остаток ортофосфатной кислоты, у *гликолипидов* – углеводы. Эти соединения выполняют в основном структурную функцию.

К липидам относят и ***жироподобные соединения*** (липоиды), которые являются их предшественниками или производными. Большинство из них выполняют в организме регуляторную функцию. Примером подобных веществ являются ***стероиды***. Стероидную природу имеют половые гормоны и гормоны надпочечников (кортикостероиды). К жироподобных соединениям относятся жирорастворимые витамины A, D, E и K.

Итак, классифицировать липиды очень трудно из-за их огромного химического разнообразия, но чаще всего их разделяют по химическому составу на простые и сложные липиды.

### Какова биологическая роль липидов?

К основным функциям, иллюстрирующим значение липидов, относятся следующие:

- ***строительная***, или ***структурная*** (фосфолипиды и холестерин участвуют в построении билипидного слоя клеточных мембран);
- ***энергетическая*** (при расщеплении 1 г жиров высвобождается 38,9 кДж энергии;
- ***запасающая*** (у растений откладываются про запас масла, у животных – жиры, кроме того, избыток углеводов и белков может превращаться в жиры и откладываться про запас);
- ***теплоизоляционная*** (благодаря низкой теплопроводности жиры, накапливаясь в коже, предотвращают потери теплоты);
- ***водообразующая*** (при окислении 1 г жиров образуется 1,1 г метаболической воды, которая очень важна для жителей пустыни, животных, которые впадают в спячку);
- ***регуляторная*** (половые гормоны, кортикостероидные гормоны участвуют в эндокринной регуляции жизнедеятельности организмов);
- ***защитная*** (воски защищают органы растений от потерь воды, жиры вокруг внутренних органов в организме животных – от механических влияний, «витамин F» оказывает противоаллергическое и противовоспалительное действие в организме человека);
- ***сигнальная*** (гликолипиды в составе мембран способствуют восприятию раздражений);
- ***антиоксидантная*** (витамины A и E – вещества, защищающие клетки от негативного воздействия свободных радикалов);
- ***пищеварительная*** (жёлчные кислоты, фосфолипиды участвуют в эмульгации жиров и их всасывании. Кроме того, жиры являются растворителями для витаминов A, D, E, K.

Итак, биологические функции липидов являются такими же разнообразными, как и сами липиды.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

Установите соответствие между предложенными названиями липидов и определениями и получите название метода извлечения веществ из смеси с помощью определённого растворителя.

**Названия липидов:** 1 – ланолин; 2 – спермацет; 3 – фосфолипиды; 4 – жирные кислоты; 5 – жёлчные кислоты; 6 – тестостерон; 7 – «витамин F»; 8 – кутин; 9 – витамин D; 10 – холестерин.

**Определение:** А – стероидный мужской половой гормон; Е – шерстяной воск, получают при промывании овечьей шерсти; И – жирорастворимый витамин, регулирующий обмен кальция; $К_1$ – животный воск некоторых китообразных; $К_2$ – жирорастворимый витамин как комплекс незаменимых жирных кислот; С – сложные липиды, являются основными компонентами клеточных мембран; Т – основные компоненты молекул липидов; Р – стероидные соединения, осуществляющие эмульгацию жиров в пищеварении; Ц – растительный воск, образует кутикулу листьев; Я – стероидное соединение, которое откладывается в стенке кровеносных сосудов при атеросклерозе.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |

### Задания на формирование исследовательских умений

Проведите предложенные опыты, опишите результаты.

**Опыт 1.** В тарелку с молоком насыпьте небольшое количество нескольких различных по цвету пищевых красителей. Что происходит? Через некоторое время кончик ватной палочки смочите медицинским спиртом (средством для мытья посуды) и опустите в центр тарелки. Что наблюдаете?

**Опыт 2.** В три пробирки поместите по 1 мл масла. В первую пробирку добавьте 5 мл воды, во вторую – 5 мл спирта, в третью – 5 мл медицинского эфира или спирта (можно приобрести в аптеке). Содержание всех трёх пробирок энергично встряхните. Что наблюдаете?



## ОТНОШЕНИЕ

Приведите примеры продуктов, содержащих липиды. Укажите их значение и сделайте вывод о необходимости употребления человеком таких продуктов.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое липиды? 2. Что такое жирные кислоты? 3. Приведите примеры простых липидов. 4. Приведите примеры сложных липидов. 5. Назовите основные функции липидов. 6. Объясните структурную и энергетическую функции липидов. |
| 7 – 9 | 7. Какие особенности строения и свойства липидов определяют их значение? 8. Как классифицируют липиды? 9. Какова биологическая роль липидов? |
| 10 – 12 | 10. Обоснуйте необходимость употребления человеком пищевых продуктов, содержащих липиды. |

*Жизнь – это способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей природой.*

*Ф. Энгельс*

# § 8. БЕЛКИ, ИХ ОРГАНИЗАЦИЯ И ФУНКЦИИ

**Основные понятия и ключевые термины: БЕЛКИ. Аминокислоты. Денатурация. Ренатурация.**

**Вспомните!** Что такое макромолекулы?

**Подумайте!**

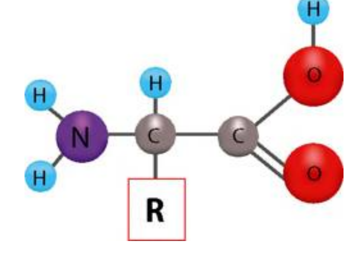
В природе существует около 10 триллионов ($10^{12}$) различных белков, обеспечивающих жизнедеятельность организмов всех степеней сложности – от вирусов до человека – и выделяют среди них представителей этих двух миллионов видов организмов, известных на сегодня в биологии. От чего зависит такое впечатляющее разнообразие белков?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы особенности строения белков?

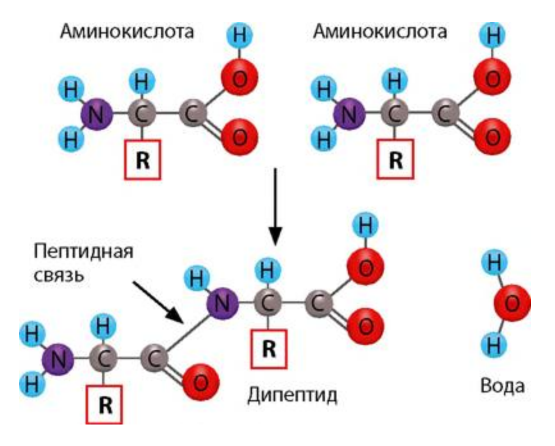
**БЕЛКИ** – *это высокомолекулярные биополимерные органические соединения, мономерами которых являются аминокислоты.* Особенностью современных исследований белков является определение белкового состава организмов; этим занимается такая наука, как ***протеомика***.




Ил. 14. Общая структурная формула аминокислоты

Белки являются биополимерами из 20 различных мономеров – природных *основных аминокислот*, соединённых в макромолекулах в специфических количестве и последовательности. Порядок расположения аминокислот в молекуле белка определяется геном.

**Аминокислоты** – *это малые биомолекулы, в состав которых входят амино- и карбоксильная группы.* Кроме того, они содержат характеристическую (радикал-R) группу, которая у разных аминокислот различна (*ил. 14*). При взаимодействии $NH_2$-группы одной аминокислоты с COOH-группой другой образуются ***пептидные связи***, определяющие прочность белковых молекул (*ил. 15*). По биологическим особенностям аминокислоты делятся на *заменимые* (например, аланин, аспарагин) и *незаменимые* (аргинин, валин). Первые синтезируются в организме человека




Ил. 15. Схема образования пептидной связи

и животных, а другие не синтезируются и попадают в него только с пищевыми продуктами. Для нормальной жизнедеятельности организм нуждается в полном наборе из 20 основных аминокислот.

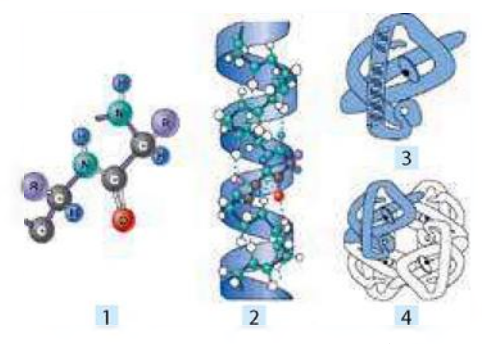
По химическому составу белки делят на простые (протеины) и сложные (протеиды). Простые белки состоят только из аминокислотных остатков, а сложные содержат ещё и небелковые компоненты (атомы железа в гемоглобине, цинка – в инсулине, магния – в хлорофилле, молекулы липидов – в липопротеидах, углеводов – в гликопротеидах, нуклеиновых кислот – в нуклеопротеидах).

Итак, бесконечное разнообразие белков определяется разнообразием комбинаций аминокислот и их способностью соединяться с другими молекулами.

### Какова структурная организация белков?

Выделяют четыре уровня структуры белков (*ил. 16*).

***Первичная структура*** кодируется соответствующим геном, является специфической для каждого отдельного белка и в наибольшей степени определяет свойства сформированного белка. Формируют первичную структуру белков пептидные связи, хотя могут иметь место и ковалентные дисульфидные связи.




Ил. 16. Структурная организация белков:
1 – первичная структура (цепь);
2 – вторичная структура (спираль);
3 – третичная структура (глобула);
4 – четвертичная структура (мультимер)

***Вторичная структура*** представляет собой форму спирали или структуру складчатого листка и является наиболее устойчивым состоянием белковой цепи. Такая устойчивость формируется благодаря многочисленным *водородным связям*. Примерами белков со вторичной структурой являются кератины (образуют волосы, ногти, перья и т. д.) и фиброин (белок шёлка).

***Третичная структура*** возникает в результате взаимодействия аминокислотных остатков с молекулами воды. Поддержание третичной структуры обеспечивают *ковалентные дисульфидные* и *нековалентные ионные*, *гидрофобные* и *электростатические связи*. К белкам с третичной структурой относят миоглобин.

***Четвертичная структура*** возникает в результате сочетания нескольких субъединиц с образованием белкового комплекса (мультимера). Поддержание этой структуры также обеспечивают *ионные*, *гидрофобные* и *электростатические связи*. Типичным белком четвертичной структуры является гемоглобин.

Белки могут длительное время сохранять структуру и физико-химические свойства. Но есть ряд факторов (температура, кислоты, щелочи, тяжёлые металлы), влияние которых ведёт к утрате естественной структуры белка с сохранением первоначальной. Этот процесс называется **денатурацией**. Если действие этих факторов прекращается, то

белок восстанавливает свое исходное состояние. Это явление называют **ренатурацией**. В живых организмах эти свойства белков связаны с выполнением определённых функций: принятием сигналов из внешней среды, обеспечением движений и т. п. Необратимый процесс разрушения первичной структуры белка называют ***деструкцией***.

Итак, на разнообразие белков влияет ещё и их пространственная структура, которая формируется в процессе свёртывания белков (или фолдинга).

### Какова роль белков в жизнедеятельности организмов?

Главная характеристика белков, дающая им возможность выполнять различные функции, – это способность связываться с другими молекулами. Участки белков, отвечающих за это, называются *участками связывания*. Функции белков в клетке более разнообразны, чем функции других макромолекул. Основными из них являются:

- ***строительная*** – белки являются строительным материалом для многих структур (например, коллаген является компонентом хрящей, кератин образует перья, ногти, волосы, рога, эластин – связи);
- ***каталитическая*** – белки-ферменты ускоряют химические реакции (например, трипсин катализирует гидролиз белков);
- ***двигательная*** – сократительные белки обеспечивают движения, изменение формы клеток организма (например, миозин, актин образуют миофибриллы);
- ***транспортная*** – белки могут связывать и транспортировать неорганические и органические соединения (например, гемоглобин переносит $O_2$ в крови позвоночных, миоглобин переносит $O_2$ в мышцах, гемоцианин переносит $O_2$ в крови головоногих моллюсков);
- ***защитная*** – белки защищают от повреждений, антигенов и т. д. (например, антитела инактивируют чужеродные белки, фибриноген является предшественником фибрина при свёртывании крови);
- ***регуляторная*** – белки регулируют активность обмена веществ (например, гормоны инсулин, глюкагон регулируют обмен глюкозы, соматотропин является гормоном роста);
- ***энергетическая*** – при расщеплении белков в клетках высвобождается энергия (1 г = 17,2 кДж);
- ***сигнальная*** – есть белки, которые могут изменять свою структуру под воздействием определённых факторов и передавать возникающие сигналы (например, родопсин – зрительный пигмент);
- ***запасающая*** – белки могут откладываться про запас и служить источником важных соединений (например, яичный альбумин в качестве источника воды, казеин – белок молока);
- ***питательная*** – есть белки, которые потребляют организмы (например, казеин – белок молока для питания малышей млекопитающих).

Существует много белков, которые расширяют перечисленные функции белков. Белковую природу имеют некоторые антибиотики, яды змей и пауков, бактериальные токсины. У некоторых арктических рыб в крови есть белок, выполняющий функции антифриза: он не даёт крови этих животных замерзать.

Итак, разнообразие белков определяет и разнообразие их функций в жизнедеятельности организмов.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1 (А)

***Решение элементарных упражнений по структуре белков***

**Цель:** формировать умение решать элементарные упражнения по молекулярной биологии.

**Что нужно помнить для решения упражнений**

- Относительная молекулярная масса ($M_r$) белков измеряется в атомных единицах массы (а. е. м.) или дальтонах (Да)
- Относительная молекулярная масса аминокислоты – 100 а. е. м.

**Упражнение 1.** Молекулярная масса белка каталазы – 224 000 а.е.м. Сколько аминокислотных остатков в этой молекуле? Сколько пептидных связей между аминокислотами образуют цепь?

**Упражнение 2.** Молекулярная масса инсулина (гормона поджелудочной железы) имеет 5 610 а. е. м. Сколько амино- и карбоксильных функциональных групп входит в его состав.

**Упражнение 3.** Определите молекулярную массу белка лизоцима, в состав которого входит 130 аминокислот.

**Упражнение 4.** Молекулярная масса гемоглобина равна 68 660 Да. Всего в состав (всех 4 субъединиц гемоглобина) входит 602 аминокислоты. Определите молекулярную массу гема.

**Упражнение 5.** Гемоглобин крови человека содержит 0,34 % железа. Определите минимальную массу молекулы гемоглобина (молекулярную массу белка можно определить по формуле: $M = 100 \times a \,/\, б$, где $M$ – молекулярная масса белка; $a$ – атомная или молекулярная масса компонентов; $б$ – процентный состав компонента).

**Упражнение 6.** Карбоангидраза – это фермент, с помощью которого образуется углекислый газ в процессах тканевого дыхания. Молекулы фермента содержат 0,23 % цинка. Определите молекулярную массу карбоангидразы.

## ОТНОШЕНИЕ

Приведите примеры пищевых продуктов, содержащих белки. Укажите значение белков в организме человека. Сделайте вывод о необходимости употребления человеком белковых пищевых продуктов.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое белки? 2. Что такое аминокислоты? 3. Назовите структурные уровни организации белков 4. Что такое денатурация и ренатурация? 5. Назовите связи, стабилизирующие структуру белков. 6. Назовите основные функции белков. |
| 7 – 9 | 7. Каковы особенности строения белков? 8. Какова структурная организация белков? 9. Какова роль белков в жизнедеятельности организмов? |
| 10 – 12 | 10. От чего зависит бесконечное разнообразие белков? |

***Нуклеиновые кислоты – это соединения, соединяющие прошлое с будущим.***
*Детская энциклопедия*

# § 9. НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ

**Основные понятия и ключевые термины: НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ. Нуклеотиды.**

**Вспомните!** Что такое биополимеры и мономеры?

### Знакомьтесь!



25 апреля 1953 г. считается днём рождения молекулярной биологии, поскольку в этот день в журнале *Nature* была опубликована статья ***Джеймса Уотсона*** и ***Фрэнсиса Крика*** с описанием созданной модели пространственной структуры ДНК. Одно из величайших открытий человечества было сделано так, что невозможно определить, какой науке это открытие принадлежит, – так тесно переплелись в нём химия, физика и биология.



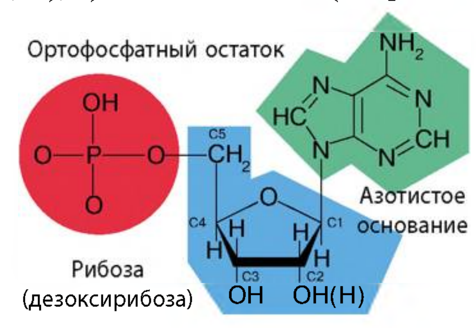
## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы особенности нуклеиновых кислот?

В живом организме есть химические соединения, предназначенные для сохранения наследственной информации. Это *дезоксирибонуклеиновые кислоты* (ДНК). Они не только сохраняют информацию внутри организма, но и передают её следующему поколению. В клетках организма есть и соединения, которые эту информацию реализуют в определённые белки. Это *рибонуклеиновые кислоты* (РНК).

Нуклеиновые кислоты были открыты швейцарским химиком Ф. Мишером в составе ядер лейкоцитов в 1869 г., откуда и происходит их название (от лат. *nucleus* – ядро). Это наиболее высокомолекулярные вещества в клетке, их масса достигает нескольких миллионов. Позже химики установили, что нуклеиновые кислоты имеют вид неразветвлённой цепи, образованной из *нуклеотидов*.

**Нуклеотиды** – *органические соединения, молекулы которых состоят из азотистого основания, моносахарида и остатков ортофосфатной кислоты* (*ил. 17*). В состав молекул нуклеотидов входят: 1) азотистое (азотсодержащее) основание (**А** – аденин, **Г** – гуанин, **Т** – тимин, **Ц** – цитозин или **У** – урацил); 2) остаток пентозы (**Р** – рибоза или **Д** – дезоксирибоза) и ортофосфатная кислота. Нуклеотиды хорошо растворимы в воде, проявляют свойства кислот, так как содержат ортофосфатную кислоту, а благодаря азотсодержащим основаниям – основные свойства. И именно эти свойства, соотношение и последовательность расположения нуклеотидов, пространственная структура молекул



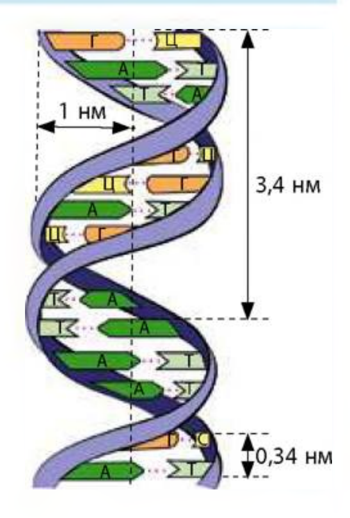

Ил. 17. Структурная формула нуклеотида

определяют свойства и функции нуклеиновых кислот. Организмы разных видов отличаются между собой, так как молекулы ДНК их клеток имеют разную последовательность нуклеотидов, и соответственно, содержат разную наследственную информацию.

Итак, **НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ** – сложные высокомолекулярные биополимеры, образованные из нуклеотидов, которые во всех живых организмах выполняют роль хранения, передачи и реализации наследственной информации.

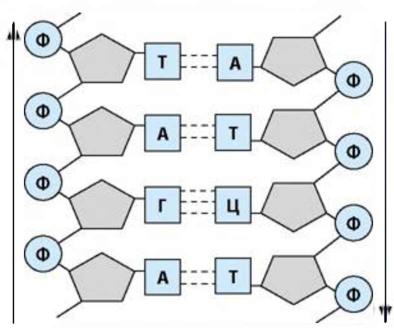
### Каковы особенности ДНК?

Каким образом длинная неразветвлённая цепь ДНК кодирует всю наследственную информацию организма? Как эта информация передаётся от одного поколения следующему? А как эти длинные цепи расположены в микроскопическом ядре? Ответ на эти и другие подобные вопросы содержит пространственная структура ДНК. Согласно модели, созданной Дж. Уотсоном и Ф. Криком, молекула ДНК состоит из двух цепей и свёрнута в спираль, которая характеризуется такими параметрами. Спираль является правозакрученной, расстояние между нуклеотидами (или длина нуклеотида) составляет 0,34 нм, шаг спирали – 3,4 нм и содержит 10 пар нуклеотидов, диаметр спирали (2 нм) одинаков по всей длине (*ил. 18*).



Ил. 18. Строение и размеры молекулы ДНК

Спираль молекулы ДНК состоит из дезоксирибонуклеотидов, в образовании которых принимают участие: азотистые основания аденин, тимин, гуанин и цитозин, моносахарид дезоксирибозы и остатки ортофосфатной кислоты. Мономеры ДНК делятся на 4 типа: адениловые, тимидиловые, гуаниловые и цитидиловые. Нуклеотиды в одной цепи соединены прочными ковалентными (фосфодиэстерными) связями, а нуклеотиды из разных цепей в молекулах ДНК соединяются между собой посредством водородных связей на основе принципа комплементарности (А = Т, Г = Ц) (*ил. 19*). Благодаря этому цепи ДНК могут служить матрицей для образования новых цепей. *Процесс самоудвоения ДНК, который обеспечивает точное копирование наследственной информации и передачу её из поколения в поколение, называется* **репликацией** (от англ. *replication* – копирование) (*ил. 20*). Механизм репликации происходит с высокой точностью, но иногда случаются ошибки. Молекулы ДНК способны к исправлению нарушений. *Репарация*



Ил. 19. Строение и связи в молекуле ДНК (между адениловыми и тимидиловыми нуклеотидами образуются две водородные связи, а между гуаниловыми и цитидиловыми – три водородные связи)

(от англ. *DNA repair* – «ремонт» ДНК) – совокупность процессов, с помощью которых исправляются повреждения молекул. Ещё одним свойством ДНК является способность к *денатурации* (потере молекулой ДНК спиральной структуры вследствие разрыва водородных связей между комплементарными азотистыми основаниями) и *ренатурации* (восстановлению двуспиральной структуры благодаря установлению водородных связей между комплементарными азотистыми основаниями).


Ил. 20. Репликация ДНК

Итак, **ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕИНОВАЯ КИСЛОТА** (ДНК) – нуклеиновая кислота, в которой мономерами являются дезоксирибонуклеотиды; структура – двойная спираль; основные свойства – репликация, репарация, денатурация и ренатурация.

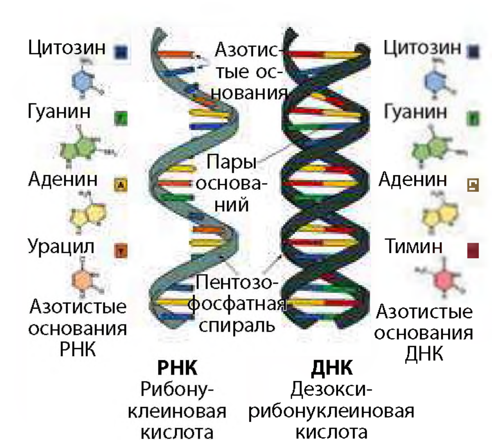
**Чем и почему РНК отличается от ДНК?**

Наследственная информация хранится в ДНК. Роль посредников в передаче этой информации от ДНК к рибосомам для её реализации выполняют РНК. «Взаимоотношения» ДНК, РНК и белков в молекулярной биологии представляют в виде схемы: ДНК → РНК → белок.

Для синтеза белка информация с определённых участков ДНК, называемых *генами*, переписывается на РНК. Эти нуклеиновые кислоты отличаются от ДНК как по химическому составу, так и по функциям. РНК состоит из ***рибонуклеотидов***, в образовании которых участвуют азотистые основания аденин, гуанин, цитозин и *урацил*, моносахарид *рибоза* и остатки ортофосфатной кислоты. Выделяют 4 типа рибонуклеотидов (адениловые, уридиловые, гуаниловые и цитидиловые), которые объединяются в одинарную цепь с помощью ковалентных связей.

Таким образом, молекулы РНК отличаются от ДНК рядом признаков: а) углеводом РНК является рибоза; б) РНК не содержит тимина, его место занимает урацил; в) РНК является одноцепочечной молекулой. Кроме того, РНК всегда имеют меньшие длину и молекулярную массу, поскольку являются копиями отдельных участков ДНК (*ил. 21*).

На ДНК синтезируются несколько видов РНК: 1) информационные (иРНК); 2) транспортные (тРНК); 3) рибосомные (рРНК). Информационные РНК переписывают и переносят информацию о первичной структуре определённого белка к рибосомам. Транспортные РНК присоединяют и транспортируют к рибосомам аминокислоты, из которых этот белок образуется. Рибосомные РНК образуют сами рибосомы.



Ил. 21. Особенности строения и структуры РНК и ДНК

Итак, **РИБОНУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ** – это биополимерные молекулы, которые построены из рибонуклеотидов и обеспечивают реализацию наследственной информации в виде молекул белков.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

С помощью таблицы сравните ДНК и РНК в рабочей тетради и сформулируйте вывод о причинах различий.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДНК И РНК**

| Признак | ДНК | РНК |
|---|---|---|
| Мономеры | | |
| Состав нуклеотидов | | |
| Структура | | |
| Свойства | | |
| Функции | | |

**Практическая работа № 1 (Б)**

***Решение элементарных упражнений по структуре нуклеиновых кислот***

**Цель:** формировать умение решения элементарных упражнений по молекулярной биологии.

Для решения задач этого типа нужно помнить, что длина нуклеотида равна 0,34 нм; молекулярная масса нуклеотида – 345 а. е. м.

Правило Чаргаффа (1950): *количество адениловых нуклеотидов в молекуле ДНК равно числу тимидиловых* (**А = Т**), *а гуаниловых – числу цитидиловых* (**Г = Ц**).

**Упражнение 1.** В фрагменте одной цепи молекулы ДНК нуклеотиды расположены в такой последовательности: ТТГ АГЦ АЦГ ГТА ААТ ЦГА. Постройте схему двухцепочечной ДНК. Определите длину и массу этого фрагмента.

**Упражнение 2.** Фрагмент молекулы РНК состоит из 37 нуклеотидов. Какова его длина?

**Упражнение 3.** Какова длина молекулы фрагмента ДНК, состоящего из 270 нуклеотидов?

**Упражнение 4.** Фрагмент молекулы ДНК содержит 560 тимидиловых нуклеотидов (28 % общего количества). Определите количество в данном фрагменте адениловых, гуаниловых и цитидиловых нуклеотидов.

## ОТНОШЕНИЕ

Метод рентгеноструктурного анализа помог Д. Уотсону и Ф. Крику получить в 1962 г. Нобелевскую премию по физиологии и медицине за открытие пространственной структуры ДНК. В этом же году Дж. Кендрю и М. Перутц получили Нобелевскую премию по химии за определение трёхмерной структуры белков, выполненное также методом рентгеноструктурного анализа. В чём же сущность этого метода? Каково научное значение открытия пространственной структуры ДНК?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое нуклеиновые кислоты? 2. Что такое нуклеотиды? 3. Какие нуклеотиды образуют ДНК? 4. Какова роль ДНК в клетках? 5. Что такое РНК? 6. Назовите виды РНК. |
| 7 – 9 | 7. Каковы особенности нуклеиновых кислот? 8. Каковы особенности ДНК? 9. Чем и почему РНК отличается от ДНК? |
| 10 – 12 | 10. Каковы причины сходства и различий ДНК и РНК? |

*Энергия – это вечное восхищение!*
*У. Блейк*

# § 10. МОЛЕКУЛЯРНЫЙ УРОВЕНЬ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНИ

**Основные понятия и ключевые термины: МОЛЕКУЛЯРНЫЙ УРОВЕНЬ. Аденозинтрифосфатная кислота (АТФ). Ферменты.**

**Вспомните!** Что такое биологические системы?

**Запомните!**



**Энергия** (от греч. *энергос* – деятельный) – это физическая величина, общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи. Понятие энергии объединяет все явления природы в одно целое. Оно связано со способностью физического тела или системы выполнять определённую работу. При этом тело или система частично теряет энергию.



## СОДЕРЖАНИЕ

### Как обеспечиваются единство и постоянство химического состава клетки?

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ УРОВЕНЬ ЖИЗНИ – *это уровень организации, свойства которого определяются химическими элементами и молекулами и их участием в процессах преобразования энергии, веществ и информации*. Для поддержания упорядоченности химического состава в изменяющихся условиях существования клеткам необходимо непрерывное пополнение ***энергии*** извне. Источником этой энергии является свет для клеток автотрофов или химическая энергия органических соединений для клеток гетеротрофов. Первый закон термодинамики указывает на то, что *энергия не может быть ни создана, ни уничтожена, она лишь переходит из одной формы в другую*. Например, в растительных клетках световая энергия превращается в химическую энергию связей глюкозы, в клетках животных химическая энергия углеводов превращается в механическую энергию движения. Во время преобразования энергии в клетках какая-то её часть утрачивается в виде теплоты. Все эти преобразования энергии составляют её энергетический обмен.

| **Молекулярный уровень организации жизни** | |
|---|---|
| Структурная упорядоченность | Функциональная упорядоченность |
| 1. Элементарные составляющие:<br>- органогены;<br>- макроэлементы;<br>- микроэлементы<br>2. Молекулярные составляющие:<br>- неорганические молекулы;<br>- органические молекулы | 1. Процессы превращения энергии<br>2. Процессы превращения веществ<br>3. Процессы превращения информации |

Во время энергетического обмена энергия используется для превращения ***веществ***: синтеза сложных молекул из простых, образования особых энергетических соединений с макроэргическими связями и т. п. Благодаря энергии клетка осуществляет и преобразования

*информации*: воспринимает сенсорную информацию извне, подаёт информативные сигналы для других клеток, передаёт наследственную информацию следующему поколению клеток. Эти примеры свидетельствуют о том, что преобразования энергии происходят одновременно с преобразованиями веществ и информации.

Итак, единство и постоянство составляющих молекулярного уровня обеспечивается триединым потоком энергии, веществ и информации.

## Как строение АТФ связано с её функциями?

**Аденозинтрифосфатная кислота (АТФ)** – *органическое соединение, являющееся универсальным химическим аккумулятором энергии в клетке*. Молекула АТФ является нуклеотидом, состоящим из аденина, рибозы и трёх остатков ортофосфатной кислоты. При гидролитическом отщеплении фосфатной группы от АТФ высвобождается около 40 кДж энергии и образуется АДФ (аденозиндифосфатная кислота) (*ил. 22*). Когда же от молекулы АТФ отщепляются два ортофосфатных остатка, то образуется АМФ (аденозинмонофосфатная кислота) и высвобождается около 80 кДж энергии. АТФ образуется за счёт энергии, выделяемой при окислении веществ в цитоплазме клеток, митохондриях, а во время фотосинтеза – ещё и в хлоропластах.

Ил. 22. Схема гидролиза АТФ

Использование АТФ зависит от энергетических потребностей клеток. Так, в состоянии покоя у человека распадается 28 г АТФ в 1 мин, а при физической нагрузке расход АТФ достигает 500 г в 1 мин.

В обратном процессе, при образовании АТФ из АДФ или АМФ и неорганического фосфата, энергия аккумулируется в высокоэнергетических макроэргических связях, которые возникают между остатками ортофосфатной кислоты. Молекулы АТФ образуются в кислородных (аэробных) и бескислородных (анаэробных) условиях. Процессы расщепления и образования АТФ происходят постоянно в соответствии со схемой:

$$\text{АМФ} \overset{40\ \text{кДж}}{\rightleftarrows} \text{АДФ} \overset{40\ \text{кДж}}{\rightleftarrows} \text{АТФ}$$

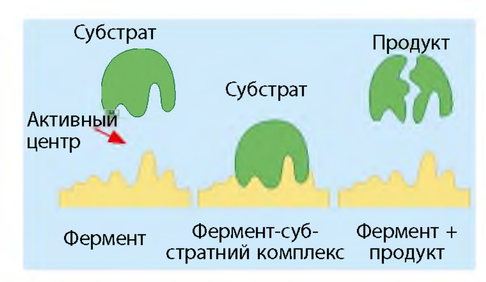
Итак, основная функция АТФ – это энергетическая, так как запасает в своих макроэргических связях значительное количество энергии.

## Каково значение ферментов в клетке?

Установлено, что ферменты имеют белковую природу, образуются в клетках организмов и служат катализаторами практически во всех биохимических реакциях. Отличие ферментов от химических катализаторов заключается в их специфичности. Каждый вид фермента катализирует особую химическую реакцию. В природе есть и РНК-ферменты, называемые рибозимами. Их считают первоначальной формой органических катализаторов, которые были замене-

ны белковыми ферментами в процессе эволюции. Наука о ферментах называется ***энзимологией***.

Общими свойствами ферментов являются:



Ил. 23. Механизм действия ферментов

- *наличие активных центров* (участки из нескольких аминокислот, к которым присоединяются молекулы субстрата);
- *специфичность*, которая определяется комплементарным соответствием между участком фермента и молекулой субстрата;
- *зависимость активности* от определённых условий (рН, температуры, давления, концентрации субстрата и ферментов);
- *каталитичность* – ускоряют реакции, но сами при этом не расходуются;
- *высокая биологическая активность* – для реакций используются в малых количествах;
- *управляемость действия* происходит под влиянием определённых соединений (регуляторные белки, катионы металлов).

Чаще всего ферменты классифицируют по химическому составу на простые и сложные. *Простые ферменты* являются однокомпонентными, то есть содержат белковую часть (например, амилазы, липазы, протеазы). *Сложные ферменты* – двухкомпонентны, состоят из апофермента (белковой части) и кофактора (небелковой части) (например, каталаза, ДНК-полимераза).

Ферментные реакции делятся на анаболические (реакции синтеза) и катаболические (реакции распада), а совокупность всех этих процессов в живой системе называют метаболизмом.

Значение ферментов заключается в том, что они увеличивают скорость химических реакций в клетке, обеспечивая химические превращения веществ вследствие снижения *энергии активации* (энергии, необходимой молекуле, чтобы стать реакционноспособной).

Итак, **ферменты** – высокоспецифичные белки или РНК-молекулы, которые являются биологическими катализаторами реакций в клетках.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Лабораторное исследование «СВОЙСТВА ФЕРМЕНТОВ»

**Оборудование и материалы:** предметные и покровные стекла, пробирки, микроскопы, листья элодеи, мякоть яблока, кусочки сырого и варёного картофеля, сырого и варёного мяса, ступка, свежий 3 %-й раствор $H_2O_2$, дистиллированная вода.

### Теоретическая часть

Пероксид водорода ($H_2O_2$ ) накапливается в живых клетках в результате окислительно-восстановительных процессов. Он оказывает токсическое действие на жизнедеятельность клетки. Этому препятствует фермент каталаза (пероксидаза), который катализирует расщепление $H_2O_2$ на воду и $O_2$.

### Ход работы

1. Изготовьте микропрепарат листка элодеи и рассмотрите его под микроскопом. Капните на предметное стекло с одной стороны покровного стекла раствором пероксида водорода, с другой – оттяните воду фильтровальной бумагой. Проследите под микроскопом за явлением.
2. Приготовьте 7 пробирок и поместите в них указанные объекты. В каждую пробирку капните 6–7 капель $H_2O_2$ и наблюдайте за изменениями в пробирках. Занесите результаты в таблицу.

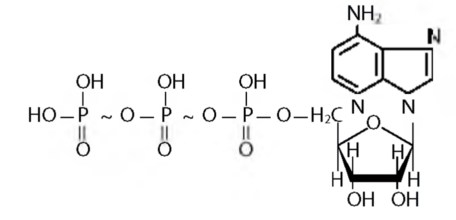
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| Мякоть яблока | Сырой картофель | Варёный картофель | Сырое мясо | Варёное мясо | Перетёртое яблоко |
| | | | | | |

3. Итог работы.

## Решение упражнений

**Упражнение 1.** Сколько энергии высвобождается при расщеплении 5 моль АТФ в АДФ и 3 моль АТФ в АМФ?

**Упражнение 2.** Сколько граммов АТФ должно расщепиться до АДФ, для того чтобы обеспечить умственную деятельность учащегося массой 40 кг в течение 30 мин при затратах энергии 6,3 кДж/кг/ч?



Структурная формула АТФ
(химическая формула – $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$)

## ОТНОШЕНИЕ

Пища человека – это мультикомпонентный фактор окружающей среды, содержащий более 600 веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности организма. Каждое из этих веществ занимает определённое место в сложном механизме биохимических процессов. Примените полученные знания и сделайте вывод о необходимости употребления человеком различных пищевых продуктов.





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое молекулярный уровень организации жизни? 2. Что является внешними источниками энергии для существования клетки? 3. Что такое АТФ? 4. Какова роль АТФ в жизнедеятельности клеток? 5. Что такое ферменты? 6. Приведите примеры ферментов. |
| 7 – 9 | 7. Как обеспечиваются единство и постоянство химического состава клетки? 8. Как строение АТФ связано с её функциями? 9. Каково значение ферментов в клетке? |
| 10 – 12 | 10. Определите факторы, от которых зависят свойства ферментов. |

# Обобщение темы 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТКИ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ МОЛЕКУЛЫ

ЕДИНСТВО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА – основной признак живого на молекулярном уровне. В состав всех живых организмов входят те же химические элементы, что имеются и в неживой материи. Однако их соотношение в живом и неживом различно. Кроме того, все живые организмы состоят из биомолекул, которых нет в неживой природе. Это белки, липиды, углеводы, нуклеиновые кислоты и АТФ (*табл. 1*).

**Таблица 1. ОСОБЕННОСТИ, РАЗНООБРАЗИЕ И ФУНКЦИИ ОСНОВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЖИВОГО**

| Название | Особенности | Разнообразие | Функции |
|---|---|---|---|
| Вода | Малые размеры молекул с прочными ковалентными связями; водородные связи между молекулами; дипольность молекул | Структурированная<br>Свободная | Растворитель и реагент, тепло- и осморегулятор, опора и средство транспортирования, конформатор |
| Минеральние соли | Существуют в живом в твёрдом состоянии или в виде ионов | Растворимые (хлориды, сульфаты, нитраты), нерастворимые (фосфаты, карбонаты, силикаты) | Регуляторная<br>Транспортная<br>Строительная |
| Углеводы | Общая формула – $C_nH_{2n}O_n$, гидрофильные и гидрофобные, сладкие и несладкие, кристаллические и некристаллические, окисляются до $CO_2$ и $H_2O$ | I. Моносахариды (рибоза, дезоксирибоза, глюкоза, фруктоза)<br>II. Дисахариды (лактоза, сахароза, мальтоза, микоза)<br>III. Полисахариды (крахмал, целлюлоза, гликоген, хитин, муреин, гепарин, пектины) | Строительная<br>Энергетическая<br>Питательная<br>Запасающая<br>Защитная |
| Липиды | Образованы жирными кислотами и спиртами; способны образовывать сложные липиды; легко образуют эмульсии; растворяются в органических растворителях; окисляются до $CO_2$ и $H_2O$ | I. Простые липиды (воски, жиры)<br>II. Сложные липиды (гликолипиды, фосфолипиды, липопротеиды)<br>III. Жироподобные, или липоиды (стероиды) | Строительная<br>Енергетичная<br>Запасающая<br>Защитная<br>Водообразовательная<br>Регуляторная |
| Белки | Состоят из 20 аминокислот, связанных пептидными связями; свойственны 4 типа структуры; характерны денатурация, ренатурация и деструкция; окисляются до $CO_2$, $H_2O$ и $NH_3$ | I. Простые белки – протеины: (альбумины, глобулины, гистоны, склеропротеины)<br>II. Сложные белки – протеиды: (фосфо-, глико-, нуклео-, хромо-, липопротеиды) | Строительная<br>Энергетическая<br>Запасающая<br>Защитная<br>Регуляторная<br>Питательная<br>Каталитическая<br>Двигательная<br>Транспортная<br>Сигнальная |
| Нуклеиновые кислоты | Состоят из нуклеотидов, связанных фосфодиэстерными и водородными связями; характерны денатурация, ренатурация и деструкция; образуются благодаря реакциям матричного синтеза | РНК (А-, У-, Г-, Ц-рибонуклеотиды)<br>ДНК (А-, Т-, Г-, Ц-дезоксирибонуклеотиды) | Информационная<br>Транспортная<br>Строительная<br>Наследственная |
| Аденозинфосфатные кислоты | Являются свободными нуклеотидами из аденина, рибозы и 1, 2 или 3 остатков ортофосфатной кислоты | АМФ (аденозинмонофосфатная), АДФ (аденозиндифосфатная), АТФ (аденозинтрифосфатная) | Энергетическая |

## Самоконтроль знаний

### Тест-оценивание 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТОК

**I. Задания на установление соответствия**

**1.** Установите соответствие между биогенным элементом и его биологическим значением.

| | | | |
|---|---|---|---|
| **1** | йод | **А** | в составе тироксина |
| **2** | цинк | **Б** | в составе инсулина |
| **3** | кальций | **В** | свёртывание крови |
| **4** | магний | **Г** | в составе хлорофилла |

**2.** Сопоставьте малые молекулы с макромолекулами, в образовании которых участвуют

| | | | |
|---|---|---|---|
| **1** | жирные кислоты | **А** | РНК |
| **2** | аминокислоты | **Б** | целлюлоза |
| **3** | моносахариды | **В** | гемоглобин |
| **4** | нуклеотиды | **Г** | пчелиный воск |

**3.** Установите соответствие между группами углеводов и примерами.

| | | | |
|---|---|---|---|
| **1** | пентозы | **А** | сахароза, лактоза |
| **2** | гексозы | **Б** | рибоза, дезоксирибоза |
| **3** | дисахариды | **В** | крахмал, целлюлоза |
| **4** | полисахариды | **Г** | глюкоза, фруктоза |

**4.** Установите соответствие между типами нуклеиновых кислот и их функциями.

| | | | |
|---|---|---|---|
| **1** | ДНК | **А** | входят в состав рибосом |
| **2** | иРНК | **Б** | сохранение наследственной информации |
| **3** | тРНК | **В** | транспортировки аминокислот в рибосомы |
| **4** | рРНК | **Г** | передача информации от ДНК к рибосомам |

**5.** Установите соответствие между белками и функциями, которые они выполняют.

| | | | |
|---|---|---|---|
| **1** | коллаген | **А** | обеспечивает сократительность мышц |
| **2** | родопсин | **Б** | обеспечивает свёртывание крови |
| **3** | миозин | **В** | образует хрящи и сухожилия |
| **4** | фибриноген | **Г** | воспринимает световые раздражения |

**II. Задания на выбор правильной комбинации ответов**

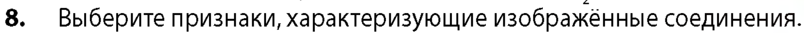
**6.** Выберите признаки, характеризующие изображённый процесс.

| **А** Название | **Б** Является свойством… | **В** Где происходит? |
|---|---|---|
| **1** репарация | **1** белков | **1** в цитоплазме |
| **2** транскрипция | **2** РНК | **2** в лизосомах |
| **3** репликация | **3** ДНК | **3** в цитоплазме |
| **4** ренатурация | **4** липидов | **4** в ядре (нуклеоиде) |

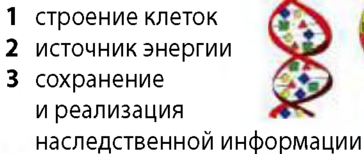
**7.** Выберите признаки, характеризующие выделенную связь в структурной формуле.

| **А** Название | **Б** Характерная для… | **В** Возникает между |
|---|---|---|
| **1** водородная | **1** углеводов | **1** $NH_3$ и $CO_2$ |
| **2** пептидная | **2** липидов | **2** $NH_2$ и $CO_2$ |
| **3** гидрофобная | **3** белков | **3** $NH_3$ и COOH |
| **4** ионная | **4** нуклеиновых кислот | **4** $NH_2$ и COOH |

$$H_2N-\underset{H}{\overset{R_1}{C}}-\underset{O}{\overset{}{\underset{\|}{C}}}-\overset{H}{N}-\underset{H}{\overset{R_2}{C}}-COOH$$

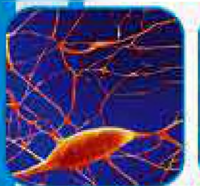
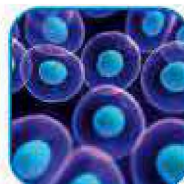


**8.** Выберите признаки, характеризующие изображённые соединения.





| **А** Название | **Б** Мономерами являются | **В** Функции |
|---|---|---|
| **1** углеводы | **1** моносахариды | **1** строение клеток |
| **2** белки | **2** жирные кислоты | **2** источник энергии |
| **3** липиды | **3** нуклеотиды | **3** сохранение и реализация наследственной информации |
| **4** нуклеиновые кислоты | **4** аминокислоты | **4** эндокринная регуляция |

# Тема 2. СТРУКТУРА КЛЕТКИ

*Клетка – это удивительный и загадочный мир, который существует в каждом организме.*
*Детская энциклопедия*

## § 11. КЛЕТКА И ЕЁ ИССЛЕДОВАНИЕ

**Основные понятия и ключевые термины:** КЛЕТКА. Клеточная теория.

**Вспомните!** Что такое биологическая система?

### Знакомьтесь!



В своей книге *Micrographia* («Микрография»), которая была опубликована в сентябре 1665 г., английский 28-летний учёный ***Роберт Гук*** (1635–1703) описал срез коры дуба, состоящей из ячеек, напоминающих ему кельи монахов. Учёный назвал эти ячейки клетками (от англ. *cell* – келья, ячейка). Он иллюстрировал клетки бузины, укропа, моркови, изобразил глаза блохи, мухи и комара. Эти исследования Роберта Гука стали основой науки о клетке, которую назвали ***цитологией***.



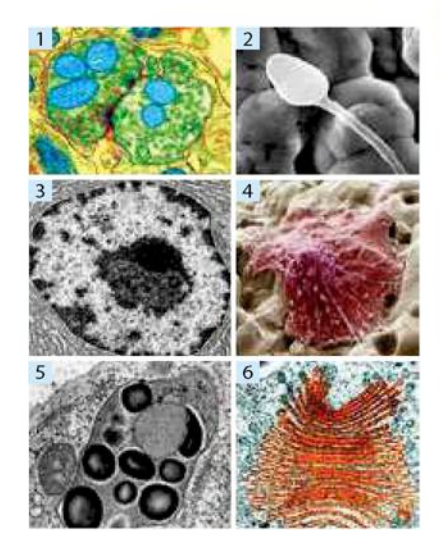
### СОДЕРЖАНИЕ

### С помощью каких методов исследуют клетку?

Со времени открытия клетки микроскопия остаётся одним из важнейших методов исследования в цитологии. Используется *световая* (*оптическая*) *микроскопия*, что позволяет наблюдать за живыми и мёртвыми клетками. Благодаря серии линз, сквозь которые проходит свет, световой микроскоп обеспечивает оптическое увеличение объектов максимум в 1 000 раз. Однако в световой микроскоп видно и меньшие объекты, если они сами излучают свет. Этот факт используется в *флуоресцентной микроскопии*, для которой к клеточным структурам присоединяют флуоресцентные белки или антитела с флуоресцентными метками. А в 2006 г. немецкие учёные Ш. Хель и М. Босси сконструировали оптический микроскоп под названием «наноскоп», в который можно наблюдать объекты размером около 10 нм и получать высококачественные трёхмерные изображения.

В XX в. была изобретена *электронная микроскопия* (Э. Руска, М. Кноль, 1931), что позволило изучать ультраструктуры клеток. Различают два основных типа электронной микроскопии: сканирующую и трансмиссионную. *Сканирующая электронная микроскопия* (СЭМ) используется для изучения поверхности объекта. Образцы чаще

всего покрывают тонкой плёнкой золота. *Трансмиссионная электронная микроскопия* (ТЭМ) используется для изучения внутреннего строения клетки. Пучок электронов пропускается через объект, который обрабатывают соединениями тяжёлых металлов для увеличения его плотности (*ил. 24*).




Ил. 24. Клетки под электронным микроскопом: 1 – контакт между нервными клетками головного мозга; 2 – мужская половая клетка – сперматозоон; 3 – ядро в клетке поджелудочной железы; 4 – остеобласты – клетки кости; 5 – лейкопласты растительной клетки с гранулами крахмала; 6 – аппарат Гольджи в растительной клетке

Для изучения функций клеток используют метод центрифугирования и метод меченых атомов. *Центрифугирование* – метод изучения отдельных клеточных структур с использованием прибора, разделяющего клетку на отдельные компоненты за счёт быстрых круговых оборотов. *Метод меченых атомов* (*авторадиография*) – метод изучения биохимических процессов клетки посредством введения в клетку радиоактивных изотопов химических элементов. Для экспериментальных и практических целей используют *методы клеточной инженерии* (методы конструирования клеток). Все упомянутые методические подходы могут использоваться в сочетании с *методами культуры клеток* (изучение клеток и жизненных процессов при их размножении на питательной среде).

Итак, развитие знаний о клетке в XX в. связано с совершенствованием методов исследования клеток и использованием достижений физики, химии, генетики, биохимии и др.

## Что такое клетка в свете современной науки?

Клетка (от лат. *cellula* – ячейка) – это элементарная биологическая система, поскольку является пределом делимости клеточных организмов. Это наименьшая единица их строения, которая обладает жизненными функциями и свойствами.

*Клетка является основной структурной единицей живого* потому, что является основой строения организмов. Она основная функциональная единица живого, которая обеспечивает выполнение жизненных функций. Например, раздражительность животных реализуется способностью нейронов передавать нервные импульсы, самовоспроизведение – способностью клеток к делению.

*Клетка является единым целым* потому, что все органеллы клетки связаны между собой и не могут существовать вне клетки. Если клетка испытывает воздействия среды, то в саморегуляции и самообновлении участвуют все органеллы клетки. Важнейшими факторами, придающими клеткам целостность, являются: а) обмен веществ, энергии и информации; 2) развитие по внутриклеточной наследственной программе; 3) взаимодействие с окружающей средой.

Клетки могут отличаться друг от друга: а) *размером* (например, клетки бактерий микоплазм – 0,1–0,25 мкм, а яйцеклетки птиц – до 2–4 см); *формой* (например, дискообразные эритроциты, шаровидные яйцеклетки, звёздчатые нейроны); *функциями* (эритроциты – транспортирование газов, гаметы – половое размножение). Различия между клетками обусловлены *специализацией на выполнении функций*.

Несмотря на различия, организация клеток всех живых организмов подобна, что обусловлено *единством их происхождения*. Общими признаками клеток являются: а) наличие основных структурных частей (поверхностный аппарат, цитоплазма и ядро или нуклеоид); б) подобие процессов обмена веществ и преобразования энергии; в) универсальное мембранное строение; г) единство химического состава; д) подобие процессов деления клеток и др.

Итак, **КЛЕТКА** – элементарная биологическая система, главная структурная и функциональная единица живого, основными свойствами которой являются саморегуляция, самовоспроизведение и самообновление.

## Каково значение современной клеточной теории?

Исследования клетки были объединены в конце 30-х годов XIX в. в клеточную теорию, которая стала основой цитологии. **Клеточная теория** – *это фундаментальное обобщение биологии, определяющее взаимосвязь всех проявлений жизни на Земле с клеткой, характеризующее клетку одновременно как целостную самостоятельную живую систему и как составляющую многоклеточных организмов растений и животных*. Клеточная теория сформулирована немецким учёным ***Т. Шванном*** в 1839 г. в научной работе «Микроскопические исследования о соответствии в структуре и росте животных и растений». Основные положения этой теории были такими: а) все организмы состоят из клеток или различными способами образованы из них; б) клетки растений и животных сходны по основным признакам. Дополнили и развили эти представления К. М. Бэр, Р. Вирхов и др.



Ил. 26. Т. Шванн (1810–1882)

На современном этапе развития цитологии клеточная теория включает следующие положения:

- клетка – элементарная единица строения и развития всех организмов;
- клетки всех одно- и многоклеточных организмов подобны по происхождению, строению, химическому составу, основным процессам жизнедеятельности;
- каждая новая клетка образуется только в результате размножения материнской клетки;
- в многоклеточных организмах, которые развиваются из одной клетки, различные типы клеток формируются благодаря специализации в течение онтогенеза и образуют ткани;
- из тканей формируются органы, которые тесно связаны между собой.

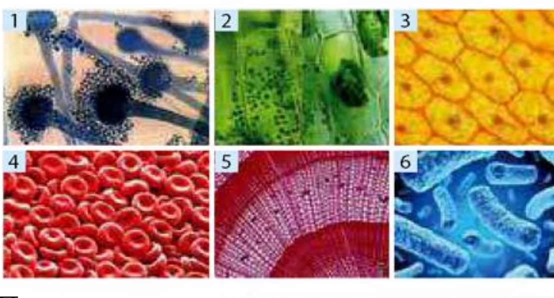
Итак, клеточная теория как обобщение знаний о клетке стала одним из решающих доказательств единства живой природы, дала основу для понимания сути жизненных процессов.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Самостоятельная работа с иллюстрацией

Сопоставьте представленные иллюстрации клеток с их названиями. В случае правильных ответов вы получите фамилию учёного, который дополнил клеточную теорию положением о том, что «каждая клетка из клетки» (*Omnis cellula e cellula*). Примените свои знания клетки для доказательства единства органического мира.

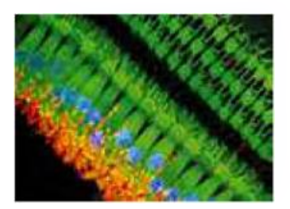



| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

Названия клеток, изображённых на иллюстрациях: $В_2$ – клетки палочковидных бактерий; В – клетки стебля растения; Р – клетки чешуек луковицы; Х – клетки крови человека; И – клетки листа растения; $В_1$ – клетка гриба аспергилла.

### Биология + Физика

Флуоресценция дала новый толчок развитию клеточной биологии. Благодаря флуоресцентной микроскопии и разработке новых флуоресцентных меток на основе зелёного флуоресцентного белка (*GFP*) появилась возможность получать контрастные окрашивания и делать фотоснимки многих внутриклеточных белковых структур. Что же такое флуоресцентная микроскопия?



Волосковые клетки внутреннего уха



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Зоогеография

В 2011 г. на дне Марианского жёлоба были открыты животнообразные организмы, клетки которых являются крупнейшими в мире. Это представители фораминифер – ксенофиофоры. Размеры *валонии пузатой* (*Valonia ventricosa*) достигают 10 см, она способна накапливать свинец, уран и ртуть, устойчива к низким температурам, высокому давлению, приспособлена к темноте. Каково значение этого открытия для науки? Какие методы применяют для прижизненного исследования клеток?





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Назовите методы исследования клеток. 2. Кто открыл клетку? 3. Что такое клетка? 4. Приведите примеры клеток. 5. Что такое клеточная теория? 6. Назовите основные положения клеточной теории. |
| 7 – 9 | 7. С помощью каких методов исследуют клетку? 8. Что такое клетка в свете современной науки? 9. Каково значение современной клеточной теории? |
| 10 – 12 | 10. Как доказать единство органического мира, используя знания о клетке? |

*Клетка – основа жизни.*
*К. Свенсон*

# § 12. КЛЕТКА И ЕЁ СТРУКТУРА

**Основные понятия и ключевые термины:** **Прокариотическая клетка. Эукариотическая клетка.**

**Вспомните!** Что такое клетка?

**Подумайте!**



**Государство** – политическое образование с определённой *территорией, экономикой и политической властью*. Каждое государство имеет свою территорию и границы, проводит собственную независимую политику на мировой арене, имеет международное признание и государственную символику: герб, флаг и гимн. Как вы считаете, целесообразно ли сравнивать государство с клеткой? Есть ли что-то общее между этими образованиями?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каково значение основных частей клетки?

Клетки одноклеточных организмов выполняют все жизненные функции, а клетки многоклеточных организмов специализируются на выполнении какой-то одной. Но всем клеткам для жизни необходимо: а) получать энергию из окружающей среды и превращать её в определённые формы; б) избирательно поглощать вещества из среды, перемещать их в клетке и выводить продукты обмена наружу; в) сохранять, реализовывать и передавать наследственную информацию следующему поколению; г) постоянно поддерживать внутриклеточное равновесие; д) распознавать сигналы среды и реагировать на них; е) образовывать новые молекулы и структуры взамен тех, срок жизни которых истёк. Эти и многие другие функциональные процессы осуществляются при участии структурных частей клетки поверхностного аппарата, цитоплазмы с органеллами и ядра (или нуклеоида).

| Организация клетки | |
|---|---|
| **Структурная упорядоченность** | **Функциональная упорядоченность** |
| 1. Поверхностный аппарат<br>2. Цитоплазма<br>3. Ядро (нуклеоид) | Процессы преобразования энергии, веществ, информации |
| **Основные свойства:** *упорядоченность, открытость, целостность, саморегуляция, самообновление, самовоспроизведение* | |

*Поверхностный аппарат* клетки выполняет защитную, транспортную, контактную и другие функции. *Цитоплазма* обеспечивает внутренние взаимосвязи между элементами клетки и условия для деятельности всех органелл. Ядро сохраняет наследственную информацию и контролирует процессы жизнедеятельности клетки согласно условий окружающей среды.

В зависимости от особенностей организации выделяют два типа организации клеток – прокариотический и эукариотический.

Итак, основными структурными частями клетки являются поверхностный аппарат, цитоплазма и ядро (нуклеоид).

## Каковы особенности структуры прокариотических клеток?

**Прокариотические** (от греч. *про* – до, *карион* – ядро) **клетки** – это клетки доядерных организмов, не имеющих чётко сформированного ядра и большинства органелл (*ил. 27*). Такой тип клеток присущ археям, бактериям и цианобактериям. По размеру клетки этих организмов в 10 раз меньше, чем клетки эукариотов. Мелкие размеры способствуют быстрому обмену веществ с окружающей средой.

*Поверхностный* аппарат большинства прокариотических клеток имеет клеточную стенку, образованную особым веществом – муреином. Это соединение придает оболочке жёсткость и не противодействует проникновению малых молекул. Снаружи клеточной стенки может образовываться слизистая капсула из полисахаридов. Она защищает клетку от высыхания, механических повреждений, проникновения вирусов, участвует в скользящих движениях, связывает соседние клетки и т. п. Под клеточной стенкой расположена плазматическая мембрана, обеспечивающая барьерную, транспортную, метаболическую функции. К поверхностным структурам прокариотических клеток относятся также пили и жгутики. Пили (фимбрии) – это выросты плазматической мембраны, направленные наружу. Эти образования прикрепляют клетки к субстрату, способствуют обмену молекулами ДНК (плазмидами) между клетками и др. Жгутики у прокариотов образованы особым белком флагеллином, и их количество в разных клеток может быть различным. Именно жгутики обеспечивают движение клеток.

| Прокариотический тип клеток | | |
|---|---|---|
| **Поверхностный аппарат** | **Цитоплазма** | **Нуклеоид** |
| Клеточная стенка<br>Клеточная мембрана<br>Поверхностные структуры (пили, слизистая капсула, жгутики) | Рибосомы<br>Включение<br>Цитоскелет | Участок цитоплазмы<br>Кольцевидная ДНК |




Ил. 27. Прокариотическая клетка

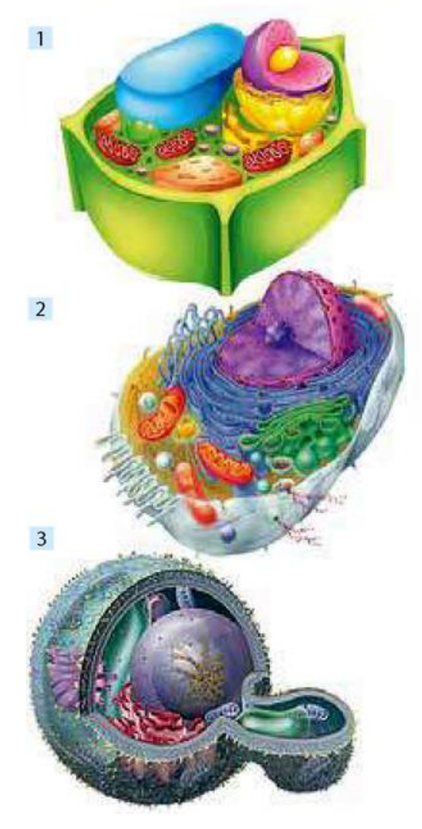
*Цитоплазма* прокариотических клеток очень густая и неподвижная, в ней нет мембранных органелл, а есть рибосомы и включения. Ранее считалось, что прокариотические клетки не имеют цитоскелета, но в 1990 г. эта структура была обнаружена в клетках бактерий, где она участвует в процессе деления клеток.

Одной из основных особенностей прокариотической клетки является отсутствие ядра. Генетический материал прокариотов содержится в определённом участке цитоплазмы и представляет собой кольцевую молекулу ДНК. Такой участок цитоплазмы с молекулой ДНК называется нуклеоидом, ответственным за сохранение и передачу наследственной информации.

Итак, основными структурными частями прокариотических клеток являются поверхностный аппарат, цитоплазма с ограниченным количеством структур и нуклеоид – аналог ядра.

## Как организована обобщённая эукариотическая клетка?

**Эукариотические** (от греч. *эу* – полностью и *карион* – ядро) **клетки** – это клетки ядерных организмов, имеющие ядро и развитую систему органелл (*ил. 28*). Они характерны для растений, грибов и животных. Обычно эукариотические клетки имеют бо́льшие размеры, чем прокариотические. В них наблюдается «разделение труда», осуществляемое с помощью мембран. Процессы жизнедеятельности происходят внутри мембранных органелл, каждая из которых имеет свой набор ферментов. Благодаря этому клетка может осуществлять одновременно много разных реакций.



Ил. 28. Эукариотические клетки:
1 – растительная; 2 – животная;
3 – грибная

*Поверхностный аппарат* эукариотических клеток разнообразят надмембранные структуры. *Цитоплазма* подвижна, в ней имеются мембранные органеллы (митохондрии, пластиды, эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, лизосомы, вакуоли), цитоскелет состоит из белка актина (микрониti) и тубулина (микротрубочки). Рибосомы у эукариотов больше, чем у прокариотов, жгутики имеют сложное строение. Появляется сложно организованное *ядро*, содержащее носители наследственной информации – хромосомы (*табл. 2*).

**Таблица 2. СТРОЕНИЕ ОБОБЩЁННОЙ ЭУКАРИОТИЧЕСКОЙ КЛЕТКИ**

| Поверхностный аппарат | Цитоплазма | Ядро |
|---|---|---|
| 1. Надмембранные структуры (клеточная стенка, гликокаликс)<br>2. Клеточная мембрана<br>3. Подмембранные структуры (микронити, микротрубочки) | 1. Цитозоль (гиалоплазма)<br>2. Органеллы:<br>а) двухмембранные (митохондрии, пластиды)<br>б) одномембранные (ЭПС, комплекс Гольджи, лизосомы, вакуоли)<br>в) немембранные (рибосомы, клеточный центр)<br>г) органеллы движения (ложноножки, жгутики, реснички)<br>3. Включения | Ядерная оболочка; ядерный сок; ядрышко; хроматин |

Итак, эукариотическая клетка организована значительно сложнее, чем прокариотическая.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

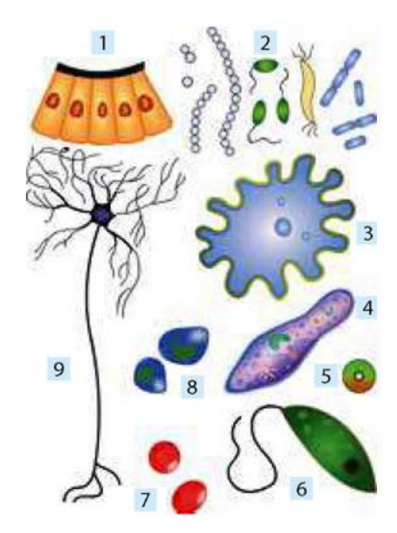
Сравните прокариотическую и эукариотическую клетки и сделайте вывод о причинах сходства и отличий в их строении.

| Признак | Прокариотическая клетка | Эукариотическая клетка |
|---|---|---|
| Размеры | | |
| Клеточная стенка | | |
| Клеточная мембрана | | |
| Особенности цитоплазмы | | |
| Мембранные органеллы | | |
| Рибосомы | | |
| Организация наследственности | | |

### Биология + География

*«При сканировании пробы, отобранной роботом на глубине почти три с половиной километра, в Северном Ледовитом океане вблизи архипелага Шпицберген, в 2015 г. шведскими учёными был открыт новый тип организмов. Место взятия пробы находилось у гидротермального курильщика Замок Локи, напоминающего сказочный замок скандинавского бога дебоша и обмана. Соответственно, новый тип назвали…».* Сопоставьте изображения клеток с их названиями и получите название этих организмов.

Названия клеток: *а* – икринка лягушки; *е* – лейкоциты; *и* – инфузория туфелька; *и* – нейрон; *к* – амеба протей; *л* – эпителиоциты кишечника; *в* – бактериальные клетки; *р* – эвглена зелёная; *х* – эритроциты.




| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Назовите основные структурные части клетки. 2. Какие процессы обеспечивают жизнь клетки? 3. Что такое прокариотическая клетка? 4. Назовите группы прокариотов. |
| 7 – 9 | 5. Что такое эукариотические клетки? 6. Назовите группы эукариотов. 7. Каково значение основных частей клетки? 8. Каковы особенности структуры прокариотических клеток? 9. Как организована обобщённая эукариотическая клетка? |
| 10 – 12 | 10. Сравните и сделайте вывод об общем плане строения клеток прокариотов и эукариотов. |

*Границы придают живому порядок.*
*Детская энциклопедия*

# § 13. КЛЕТОЧНАЯ МЕМБРАНА

**Основные понятия и ключевые термины: КЛЕТОЧНАЯ МЕМБРАНА. Клеточные контакты. Клеточная стенка. Гликокаликс.**

**Вспомните!** Что такое эукариотическая клетка?

## Подумайте!

Губки – примитивные многоклеточные животные с удивительными особенностями. Если пропустить губку через сито, то можно получить фильтрат с живыми отдельными клетками. Они сохраняют жизнедеятельность в течение нескольких дней, а затем активно перемещаются, собираются в группы и превращаются в маленькие губки. Как эти клетки распознают друг друга?

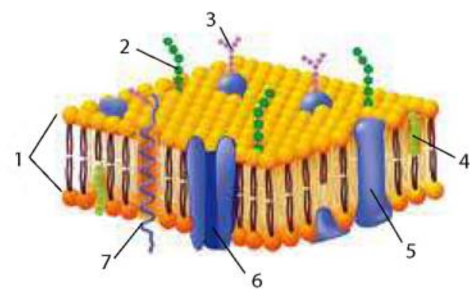




## СОДЕРЖАНИЕ

### Как функции клеточной мембраны связаны с её строением?

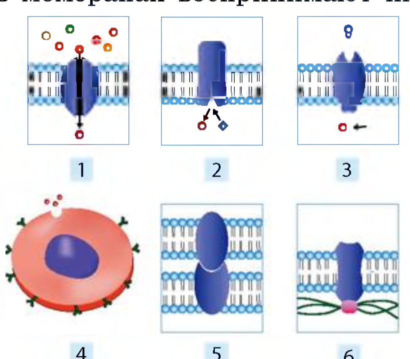
Весь поток веществ, энергии и информации проходит через клеточную мембрану, которую образуют липиды, белки и углеводы (*ил. 29*). Основой мембраны являются фосфолипиды, которые образуют двойной (билипидный) слой. Этот слой вместе с белками определяет общие свойства мембран, то есть их *подвижность, способность самовосстанавливаться* и *избирательную проницаемость для веществ*. В окружении воды фосфолипиды организуются следующим образом: гидрофильные «головки» направлены наружу и контактируют с водой, а гидрофобные «хвосты» ориентированы внутрь. Для упрочнения подвижной мембраны в ней имеются молекулы холестерина.




Ил. 29. Строение и химический состав клеточной мембраны: 1 – билипидный слой; 2 – гликолипид; 3 – гликопротеид; 4 – холестерол; 5 – глобулярный белок; 6 – белковый канал; 7 – фибриллярный белок

Согласно *жидкостно-мозаичной модели строения* клеточная мембрана содержит встроенные в билипидный слой молекулы белков, отвечающие за транспортирование веществ, обмен веществ, защиту и опору для клетки. Некоторые белки и липиды клеточных мембран, особенно в животных клетках, связаны с углеводами и образуют гликолипиды и гликопротеиды. Эти молекулы участвуют в распознавании воздействий среды, контактировании клеток между собой и реакциях клеток на раздражение. Таким образом, основными функциями клеточной мембраны являются: 1) ***транспортная*** (обмен веществ, энергии и информации с окружающей средой); 2) ***метаболическая*** (ферментные

белки участвуют в процессах взаимопревращений веществ и энергии); 3) ***рецепторная*** (рецепторные белки в мембранах воспринимают информацию из среды); 4) ***защитная*** (чужеродные мембранные белки-антигены способствуют формированию антител); 5) ***контактная*** (углеводы и фибриллярные белки обеспечивают взаимодействия между клетками); 6) ***опорная*** (к белкам мембраны прикрепляются элементы цитоскелета) (*ил. 30*).



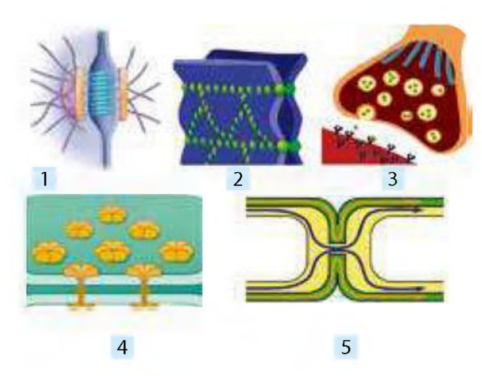
Ил. 30. Функции мембраны в жизнедеятельности клетки: 1 – транспортная; 2 – метаболическая; 3 – рецепторная; 4 – защитная; 5 – контактная; 6 – опорная

Мембраны различных клеток и организмов существенно отличаются по химическому составу белков и липидов и их содержимому, но общий план организации сходен.

Итак, **КЛЕТОЧНАЯ МЕМБРАНА** – образование клетки, состоящее из липидов, белков и углеводов и обеспечивающее взаимодействие клетки с внешней средой.

### Как происходит контакт клеток?

**Клеточные контакты** – *специализированные участки поверхностного аппарата, обеспечивающие межклеточное взаимодействие*. К основным функциям межклеточных контактов относится соединение клеток в тканях, кратковременное взаимодействие между клетками и межклеточное транспортирование веществ. Наиболее распространёнными видами межклеточных контактов являются: десмосомы, плотные контакты, синапсы, щелевые контакты и плазмодесмы (*ил. 31*).



Ил. 31. Основные виды межклеточных контактов: 1 – десмосомы; 2 – плотные контакты; 3 – синапсы; 4 – щелевые контакты; 5 – плазмодесмы

*Десмосомы* – это соединение двух клеток, происходящее с помощью элементов цитоскелета. Больше всего их в тех частях тела, которые подвергаются постоянному механическому стрессу, в частности в гладких мышцах, миокарде, где формируют вставные диски.

*Плотные контакты* – контакты, в которых мембраны клеток максимально сближаются и сшиваются специальными белками. Они изолируют клетки и предотвращают диффузию в этих участках.

*Синапсы* – коммуникационные контакты нервных клеток, которые передают информацию от нейронов на нейроны или от нейронов на мышцы.

*Щелевые контакты* (нексусы) – коммуникационные контакты, характеризующиеся наличием белковых каналов. Обеспечивают передачу электрических импульсов и питательных веществ.

*Плазмодесмы* – контакты в виде цитоплазматических мостиков между клетками. Основной функцией плазмодесм является обеспечение взаимодействия и транспортирования веществ между клетками, изолированными жёсткими клеточными оболочками. В растительном организме почти все клетки соединены таким образом.

Итак, различные типы межклеточных контактов приспособлены к особым функциям определённых клеток.

**Каково значение надмембранных структур клетки?**

Надмембранные структуры могут быть представлены в клетках клеточной стенкой и гликокаликсом.

**Клеточная стенка** – надмембранная структура, которая окружает клетки прокариотов, грибов и растений. В отличие от мембран клеточная стенка не в состоянии контролировать транспортирование молекул в клетку из внешней среды. У прокариотических клеток клеточная стенка состоит из муреина, у растительных клеток – из целлюлозы, а у грибов – из хитина. Особую роль выполняет эта структура у растений. Её целлюлозные волокна образуют каркас, промежутки которого могут быть заполнены пектиновыми веществами, лигнином. В зависимости от типа тканей растений и функций в состав стенки могут входить и неорганические соединения (например, оксид кремния, соли кальция). Растительные стенки выполняют целый ряд функций: обеспечивают транспортирование веществ, придают форму клетке, определяют направление её роста, противодействуют внутреннему давлению, защищают от неблагоприятных факторов среды и т. п.

**Гликокаликс** – *надмембранный комплекс животных клеток, образованный молекулами гликопротеидов и гликолипидов*. Основные функции – связь между клетками, восприятие раздражителей, а также участие во внеклеточном пристеночном пищеварении благодаря наличию в нём ферментов. Поскольку слой очень тонкий, он не выполняет опорной функции, присущей клеточным стенкам. Особое значение гликокаликса проявляется в фагоцитозе.

Итак, надмембранные структуры клеток защищают клетки от неблагоприятных условий окружающей среды, являются опорой для протопласта и обеспечивают связь со средой.

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**

**Биология + Физика**




Клеточные мембраны более проницаемы для воды, чем для большинства ионов, малых полярных молекул и макромолекул. Такое отличие во многом возникает вследствие наличия в мембранах белков аквапоринов, пропускающих только молекулы воды. Что такое гипертонические,

изотонические и гипотонические растворы? Какова роль клеточных мембран в обеспечении жизнедеятельности клеток?

Сморщивание Норма Набухание

$H_2O$ $H_2O$ $H_2O$ $H_2O$ $H_2O$

## Домашние опыты

Проведите опыты и оцените возможности практического применения знаний о клеточных мембранах.

**Опыт 1.** Отрежьте ножом тонкую дольку лимона и положите её на тарелку. Посыпьте дольку сахаром. Посыпать сахаром можно и нашинкованную морковь. Объясните результаты.




Нашинкованная морковь сразу после посыпания сахаром (а) и через 1 ч (б)

**Опыт 2.** Вырежьте из картофелины три кубика одинакового размера. Приготовьте три стакана. В один налейте подсоленную воду, в другой – концентрированный раствор соли, а в третий – воду из-под крана. В каждый стакан опустите по картофельному кубику. Через 2 ч рассмотрите кубики. Предложите объяснение результатов.

## ОТНОШЕНИЕ



Явление фагоцитоза открыл лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине (1908) украинский учёный ***И. И. Мечников*** (1845–1916). В процессе фагоцитоза активную роль выполняет клеточная мембрана, которая обволакивает частичку, которая фагоцитируется, и втягивает её в глубь цитоплазмы с образованием фагосомы. Из лизосом клетки к фагосомам поступают гидролитические ферменты, которые переваривают поглощённую частицу. Какое значение имеет это открытие для развития знаний о клетке?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое клеточная мембрана? 2. Назовите функции клеточной мембраны. 3. Что такое мембранное транспортирование? 4. Каковы механизмы транспортирования веществ через мембраны? 5. Что такое надмембранные структуры клетки? 6. Назовите надмембранные структуры. |
| 7 – 9 | 7. Как функции клеточной мембраны связаны с её строением? 8. Как происходит транспортирование веществ через клеточную мембрану? 9. Каково значение надмембранной структуры клетки? |
| 10 – 12 | 10. Какова роль клеточных мембран в адаптации клеток к условиям существования? |

*Цитоплазма – место, где происходят основные события в жизни клетки.*
*Детская энциклопедия*

## § 14. ЦИТОПЛАЗМА И ОСНОВНЫЕ КЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНЕЛЛЫ

**Основные понятия и ключевые термины: ЦИТОПЛАЗМА. Органеллы.**

**Вспомните!** Что такое клетка?

### Подумайте!




Движение цитоплазмы присуще в определённой степени всем живым клеткам, однако наиболее заметно под световым микроскопом в клетках элодеи канадской (*Elodea canadensis*). Реальная скорость движения цитоплазмы в клетках её листьев составляет 0,1 мм/мин. Различают эти движения, наблюдая за перемещениями хлоропластов. Каково же значение имеет движения цитоплазмы для жизнедеятельности клеток?



### СОДЕРЖАНИЕ

### Почему цитоплазма является структурной системой?

Под клеточной мембраной внутри живой клетки находится не просто раствор соединений и органеллы, а сложная динамическая структурная система, называемая цитоплазмой (*ил. 32*). Вспомним, что ядро к этой системе не относится. С цитоплазмой связаны все жизненные функции клетки – её опора, движение, питание, пищеварение, дыхание, выделение, транспортирование веществ, раздражительность и др.



Ил. 32. Цитоплазма – динамическая трёхмерная система со сложной молекулярной организацией

Внутреннее содержимое клетки характеризуется относительным постоянством состава и свойств. Основным свойством цитоплазмы является способность к движению (циклоз). Благодаря ей цитоплазма создаёт оптимальные условия для биохимических реакций, связывает все части клетки в единое целое. Под контролем ядра цитоплазма регулирует реакции синтеза (ассимиляция) и распада (диссимиляция), обладает способностью к росту и самообновлению, участвует в самовоспроизведении клеток, распределении органелл и ресурсов материнской клетки.

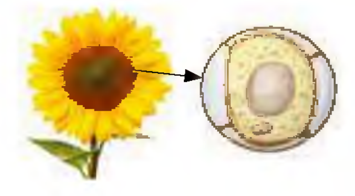
Цитоплазма состоит из таких компонентов, как гиалоплазма, цитоскелет, включения и органеллы.

***Цитоскелет*** – совокупность микронитей и микротрубочек, которые выполняют прежде всего двигательную и опорную функции. Микронити (микрофиламенты) образованы сократительными белками актином и миозином, микротрубочки – спирально упакованными единицами белка тубулина. Эта опорно-двигательная система про- и эукариотических клеток, как и цитоплазма в целом, постоянно изменяется, её

функциями являются поддержка и адаптация формы клетки, обеспечение внешних и внутренних движений, рост и деление клеток.

***Гиалоплазма*** (от греч. *гиалос* – стекло), или цитозоль, – основа цитоплазмы, её матрикс, который является прозрачным раствором органических и неорганических веществ в воде. Физическое состояние гиалоплазмы в виде геля или золя влияет на скорость биохимических процессов: чем она гуще, тем медленнее происходят химические реакции.

***Включения*** – непостоянные клеточные структуры, являющиеся запасающими соединениями или продуктами обмена веществ, и роль которых в клетке пассивна. Они имеют вид зёрен, кристалликов, капель и служат для жизнеобеспечения клетки или образуются в результате её функционирования (*ил. 33*). По функциям их делят на секреторные, экскреторные, трофические, пигментные, а по химической природе – на белковые, углеводные, липидные, кристаллические и др.



Ил. 33. Капли масла в клетках семян подсолнечника

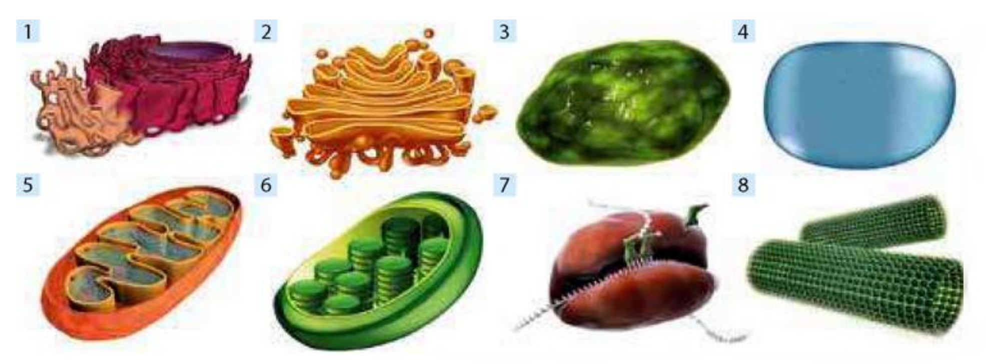
Итак, **ЦИТОПЛАЗМА** (от греч. *цитос* – клетка и лат. *plasma* – вылепленное, созданное) – часть клетки, находящаяся между поверхностным аппаратом и ядром, имеет высокую степень структурной и функциональной организации.

### Каково значение основных органелл эукариотической клетки?

По особенностям строения органеллы клеток делят на одномембранные (эндоплазматическая сетка, комплекс Гольджи, лизосомы, вакуоли), двумембранные (митохондрии, пластиды) и немембранные (рибосомы, клеточный центр) (*ил. 34*).

***Эндоплазматическая сетка*** (ЭПС) – *одномембранная органелла в виде системы цистерн, трубочек, пузырьков, участвующих в клеточном обмене и транспортировании веществ*. Выделяют гладкую (без рибосом) и шероховатую (с рибосомами) ЭПС. Основными функциями являются синтез белков, углеводов, жиров, транспортирование веществ по клетке и образование вакуолей. ЭПС – это органелла, которая делит цитоплазму на отдельные функциональные отсеки.

***Комплекс Гольджи*** (КГ) – *одномембранная органелла в виде системы цистерн, трубочек, пузырьков, осуществляющая клеточные про-*




Ил. 34. Органеллы клеток: 1 – эндоплазматическая сеть; 2 – комплекс Гольджи; 3 – лизосома; 4 – вакуоль; 5 – митохондрия; 6 – пластида; 7 – рибосома; 8 – клеточный центр

*цессы секреции и экскреции*. Обеспечивает преобразование соединений, поступающих из ЭПС, в функциональные продукты (гормоны, ферменты и т. д.). Ещё одной важной функцией является образование лизосом.

***Лизосомы*** (от греч. *лизис* – расщепление, *сома* – тельце) – *одномембранные органеллы в виде округлых пузырьков, содержащих ферменты для клеточного пищеварения*. Эти органеллы кроме расщепления сложных органических веществ до простых уничтожают чужеродные соединения, отработанные органеллы, зараженные вирусами клетки и т. п. Ферментный состав лизосом разнообразен.

***Вакуоли*** (от лат. *vacuus* – пустой) – *одномембранные органеллы, участвующие в секреции, экскреции и запасании соединений*. Располагаются в клетках животных (пищеварительные, секреторные и сократительные вакуоли), растений (осморегуляторные и секреторные вакуоли) и грибов (запасающие и секреторные вакуоли). Особенно хорошо развиты вакуоли в клетках растений.

***Митохондрии*** (от греч. *митос* – нить и *хондрион* – зёрнышко) – *двумембранные эукариотические полуавтономные органеллы клеточного дыхания*. Наиболее характерной особенностью строения являются кристы (гребни), на которых обнаружены мелкие тельца – АТФ-сомы с ферментами для синтеза АТФ. Внутри расположены ДНК, иРНК, рибосомы для синтеза собственных белков. Энергетическая функция митохондрий состоит из таких процессов, как: а) окисление органических соединений, благодаря чему митохондрии называют *дыхательным центром клеток*; б) синтез АТФ, вследствии чего митохондрии называют *энергетическими станциями клеток*.

***Пластиды*** (от греч. *пластос* – вылепленный) – *это двумембранные полуавтономные органеллы растительных клеток, осуществляющие питание и запасание веществ*. Этот вид органелл делят на хлоропласты (осуществляют фотосинтез и синтез АТФ), хромопласты (обусловливают окраску лепестков, плодов) и лейкопласты (запасают крахмал). Пластиды способны к взаимопревращениям. Например, в процессе позеленения клубней лейкопласты превращаются в хлоропласты, в кожуре апельсинов и корнеплодах моркови хлоропласты превращаются в хромопласты.

***Рибосомы*** (от названий РНК и греч. *сома* – тельце) – *немембранные универсальные органеллы, состоящие из рРНК и белков и обеспечивающие синтез белков*. Свободно расположены в цитоплазме, прикреплены к мембранам зернистой ЭПС, на ядре, в пластидах и митохондриях. Состоят из двух субъединиц: большой и малой. Образуются субъединицы из РНК (синтезируется в ядрышке) и белков (поступают из цитозоля). В ядрышке субъединицы соединяются, покидают ядро и поступают в цитоплазму.

***Клеточный центр*** (центросома) – *немембранная органелла, состоящая из центриолей*. Стенки центриолей формируют 9 триплетов микротрубочек, расположенных по кругу. Выполняет такие функции, как деление клетки и организация цитоскелета.

Итак, **органеллы** (от греч. *органон* – орудие), или органоиды, – это постоянные клеточные структуры, которые имеют специфическое строение и выполняют жизненно важные функции клетки.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Самостоятельная работа

Сопоставьте обозначенные структуры клетки с их названиями: А – комплекс Гольджи; Б – митохондрия; Г – цитоплазма; Е – лизосома; $С_1$ – клеточная мембрана; $С_2$ – выделительная вакуоль; Т – ЭПС; $Р_1$ – ядро; $Р_2$ – клеточный центр; $Р_3$ – рибосома; В – элементы цитоскелета.

В случае правильного сопоставления в таблице ответов получите фамилию немецкого ботаника, который ввёл в науку понятие *цитоплазма*.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | |



## ОТНОШЕНИЕ

### Задача на формирование убеждений о значении науки



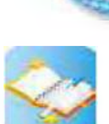
• Благодаря методу окраски отдельных клеток с помощью нитрата серебра Камилло Гольджи (1843–1926) открыл в нейронах сетчатый аппарат, названный в его честь комплексом Гольджи.



• Нобелевская премия в области физиологии и медицины за 2016 г. присуждена японскому учёному, научному специалисту по клеточной биологии Йошинори Осуми за исследования механизмов аутофагии в клетке, которую осуществляют лизосомы.

• Учёные Киевского национального университета имени Тараса Шевченко под руководством профессора Т. Б. Желтоножской предложили вариант доставки лекарств в клинической онкологии, создав мицеллярные наноконтейнеры.

Оцените значение этих исследований для различных отраслей деятельности человека.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое цитоплазма? 2. Назовите структурные компоненты цитоплазмы. 3. Что такое гиалоплазма? 4. Что такое цитоскелет? 5. Что такое органеллы клетки? 6. Назовите основные группы органелл эукариотической клетки. |
| 7 – 9 | 7. Почему цитоплазма является структурной системой? 8. Каково значение мембранных органелл эукариотической клетки? 9. Каково значение немембранных органелл эукариотической клетки? |
| 10 – 12 | 10. Почему цитоплазма является сложной динамической структурной и функциональной системой клетки? |

*Из всех способностей тяжелейшей и редчайшей является умение управлять.*
*Мадам де Сомери*

# § 15. ЯДРО: СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И ФУНКЦИИ

**Основные понятия и ключевые термины:** **ЯДРО. Генетическая информация.**

**Вспомните!** Что такое эукариотическая клетка?

### Новости науки

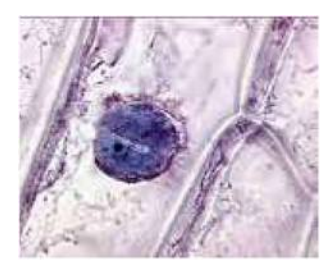


Длина ДНК составляет около 2 м, а размер ядра, в котором она расположена, составляет в среднем 16 мкм. Значит, ДНК в ядре должна быть определённым образом пространственно организована. Но проблема заключается не в плотности укладки, а в возможности считывания информации с её витков. Учёные нашли ответ на вопрос о том, как в ядре располагаются нити ДНК. Оказывается, что все нити ДНК образуют фрактальную глобулу. Само понятие заимствовано из математики, но в современной науке применяется в радиотехнике, информатике, биологии и даже в экономике.

### СОДЕРЖАНИЕ

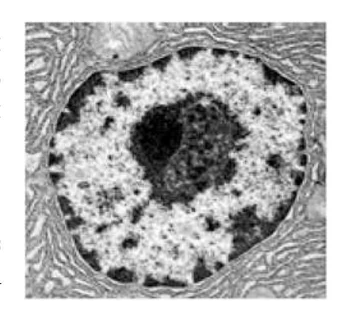
**Почему ядро играет ведущую роль в жизнедеятельности клетки?**

В 1831 г. английский учёный ***Роберт Броун***, рассматривая клетки под световым микроскопом, увидел кое-что интересное: каждая растительная клетка содержала круглый и непрозрачный элемент. Он назвал его ядром (лат. *nucleus*) (*ил. 35*). Узнав о наблюдении Броуна, немецкий физиолог Т. Шванн начал искать подобные элементы в животных клетках и нашёл их (*ил. 36*). Это было важным открытием, что свидетельствует о единстве строения всех эукариотических клеток.



Ил. 35. Ядро в клетке кожуры лука (световой микроскоп, ×1 000)

Более поздние исследования, начатые И. Геммерлингом в 1930-х годах, доказали ведущую роль ядра в передаче наследственности. Ядро содержит основную долю генетической информации о том, какими должны быть форма и строение клетки, как ей жить и развиваться. Именно в ядре содержатся молекулы ДНК, в которых закодирована наследственная информация о структуре белков. Эта информация переписывается на иРНК, которая с помощью белков-переносчиков поступает в цитоплазму к рибосомам. И уже на этих немембранных органеллах синтезируются вещества, от которых зависит формирование признаков и свойств клетки и организма. Ядро регулирует и энергетические преобразо-



Ил. 36. Электронная микрофотография ядра клетки поджелудочной железы (× 16000)

вания, поскольку в нём записана информация о ферментах и органеллах энергетического обмена. Вот почему ядро является обязательным компонентом клеток растений, грибов и животных. Только в клетках некоторых типов нет ядра. Это, в частности, эритроциты млекопитающих, ситовидные трубки семенных растений. И такие клетки не способны к продолжительной жизни.

Каждому типу клеток свойственно определённое постоянное соотношение между объёмами ядра и цитоплазмы (*ядерно-цитоплазматическое соотношение*). Ядро определённого объёма может обеспечивать процессы биосинтеза белков только в соответствующем объёме цитоплазмы. Поэтому в больших клетках или клетках с усиленным обменом веществ наблюдается многоядерность (например, в клетках инфузорий, грибов, печени, мышечных волокнах).

Итак, **ЯДРО** – это непременная часть клетки, играет ведущую роль в его жизнедеятельности, так как содержит генетическую информацию.

**Как происходят сохранение и передача генетической информации ядра?**

**Генетическая информация** – *совокупность сведений о развитии, строении и свойствах клетки, передаётся по наследству*. Отсюда её другое название – наследственная информация. Саму способность клеток или организмов передавать эту информацию следующему поколению называют ***наследственностью***. Большинство живых существ сохраняют свою генетическую информацию в *ядре* клеток, ядро имеет особые структуры – *хромосомы*, а хромосомы образованы хроматином, состоящим из ДНК и белков. И именно на ДНК генетическая информация клеток записана в виде определённых последовательностей нуклеотидов и благодаря действию различных механизмов защищена от вредного воздействия. ДНК содержит сведения о строении всех белков и РНК клетки, а также о регуляции их синтеза.

Передача генетической информации от материнской клетки следующему поколению осуществляется при её делении. Деление клеток – это процесс, при котором происходит распределение хромосом с имеющейся в них ДНК между дочерними клетками. Для клеток характерны два основных типа деления – митоз и мейоз. При митозе генетическая информация передаётся без изменений, а при мейозе – видоизменяется для увеличения изменчивости (*ил. 37*).

Итак, сохранение и передача генетической информации происходят с участием ядра.




Ил. 37. Уровни хранения и передачи генетической информации:
1 – ДНК; 2 – хромосомы; 3 – ядро; 4 – деление клеток

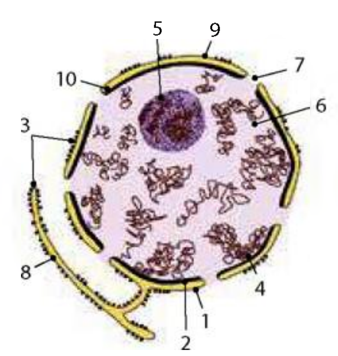
## Каковы особенности строения ядра в связи с функцией?

Основные функции ядра, определяющие его форму и особенности строения, направлены на: 1) *самовоспроизведение клеток*, что связано с сохранением информации в ДНК и её передачей дочерним клеткам при делении; 2) *самообновление клеток* – в ядре с участием ядрышек синтезируются рРНК и происходит соединение субъединиц, которые синтезируют новые молекулы белков; 3) *саморегуляцию клеток* – в ядре содержится информация о регуляторных белках, оказывающих влияние на активность генов.

В основном ядра имеют шаровидную форму, однако форма ядра зависит от формы и размеров клетки и от функций, которые она выполняет. Размеры ядра могут быть разными, обычно от 8 до 25 мкм в диаметре. В ядре выделяют поверхностный аппарат и внутреннюю среду.

**Поверхностный аппарат** состоит из двух мембран, формирующих *ядерную оболочку* с межмембранным пространством. В некоторых местах внутренняя и внешняя мембраны с помощью белков соединяются, образуя *ядерные поры* для осуществления связи между ядром и цитоплазмой. Из цитоплазмы внутрь ядра поступают синтезированные в ней вещества с помощью специализированных белков-импортинов. Зато из ядра в цитоплазму транспортируются молекулы РНК различных типов. Наружная ядерная мембрана связана с шероховатой ЭПС, которая продолжает транспортирование соединений в цитоплазме. Изнутри ядерная оболочка покрыта *ядерной пластинкой*, которая определяет форму ядра и прикрепляет хроматин (*ил. 38*).

**Внутренняя среда** ядра содержит хроматин, ядерный сок (кариоплазму) и ядрышки. ***Хроматин*** – генетический материал, основу которого составляют ДНК и белки. Хроматин образует хромосомы, которых нет у прокариотов. В состав ядра эукариотических клеток входит определённое количество хромосом, каждая из которых содержит одну линейную молекулу ДНК. ***Ядерный сок*** является внутренним содержимым ядра, по составу и свойствам близким к цитоплазме. ***Ядрышки*** – это плотные структуры, состоящие из РНК и белков, хроматина и гранул-предшественниц субъединиц рибосом. Ядрышки формируются на определённых участках отдельных хромосом. В ядрышках образуются большая и малая субъединицы рибосом, которые выходят через поры в цитоплазму и соединяются для биосинтеза белков. В ядре может быть одно или несколько ядрышек.




Ил. 38. Строение ядра: 1 – внешняя ядерная мембрана; 2 – внутренняя ядерная мембрана; 3 – рибосомы; 4 – хроматин; 5 – ядрышко; 6 – ядерный сок; 7 – ядерные поры; 8 – шероховатая ЭПС с рибосомами; 9 – межмембранное пространство; 10 – ядерная пластинка

Итак, строение ядра приспособлено к функциям, направленным на самовоспроизведение, сомообновление и саморегуляцию клеток.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Самостоятельная работа с таблицей

Заполните таблицу и сформулируйте вывод о взаимосвязи строения ядра с его функциями.

| Название структуры | Строение | Функции |
|---|---|---|
| Поверхностный аппарат ядра | Ядерная оболочка | |
| | Ядерные поры с поросомамы | |
| | Ядерная пластинка | |
| Внутренняя среда | Ядерный сок | |
| | Хроматин | |
| | Ядрышко | |

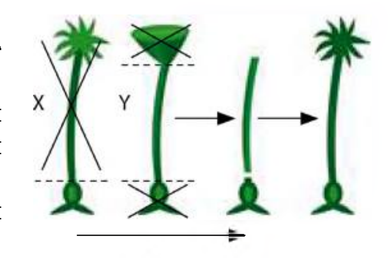
### Биология + Архитектура



Самым ярким произведением современной архитектуры является сингапурский пешеходный мост Хеликс (*The Helix Bridge*), который считается одним из красивейших мостов мира. Этот мост в виде спиралевидной молекулы ДНК длиной 280 м отличается надёжностью и лёгкостью. Какие особенности организации ДНК обеспечивают её прочность и компактное расположение в ядре?



## ОТНОШЕНИЕ




Ацетабулярии – это одноклеточные зелёные водоросли, которые благодаря огромному ядру, развитой регенерации и большим размерам (до 18 см) являются классическим объектом цитологических исследований. Различные виды ацетабулярий отличаются прежде всего формой «шапки». У средиземноморской ацетабулярии (*Acetabularia mediterranea*) «шапка» круглая, а у ацетабулярии из Карибского моря (*Acetabularia crenulata*) она рассечена на лопасти. Во время опыта у водоросли X удалили верхнюю и среднюю части, у водоросли Y – верхнюю и нижнюю части. К нижней части водоросли X пересадили среднюю часть водоросли Y, в результате чего созданный организм приобрёл вид водоросли X. О чём свидетельствуют результаты опыта? Каково значение этих опытов для доказательства единства органического мира?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое ядро? 2. Кто открыл ядро? 3. Что такое генетическая информация? 4. Как передаётся генетическая информация? 5. Назовите основные функции ядра. |
| 7 – 9 | 6. Назовите основные компоненты строения ядра. 7. Почему ядро играет ведущую роль в жизнедеятельности клетки? 8. Как происходят хранение и передача генетической информации ядра? 9. Каковы особенности строения ядра в связи с функцией? |
| 10 – 12 | 10. Какие функции ядра взаимосвязаны с его структурной организацией? |

*Структурные различия клеток тесно связаны со способами получения энергии.*
*К. Свенсон. Клетка*

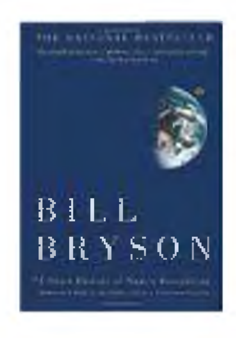
# § 16. РАЗНООБРАЗИЕ КЛЕТОК

**Основные понятия и ключевые термины:** **Растительная клетка. Животная клетка. Грибная клетка.**

**Вспомните!** Что такое клетка?

**Подумайте!**

*«У каждой клетки есть копия полного генетического кода – наставления по уходу за вашим организмом, – так что она знает не только свою работу, но и любую другую в организме. Вам ни разу в жизни не придётся напоминать клетке о том, чтобы она следила за содержанием АТФ. Клетка сделает за вас всё – и это, и миллион других дел. Каждая клетка по своей природе является чудом…»* (Билл Брайсон). Почему каждая клетка является настоящим чудом?

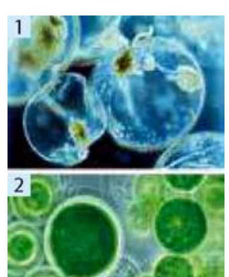





**СОДЕРЖАНИЕ**

**Что определяет разнообразие эукариотических клеток?**

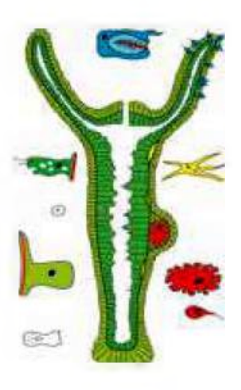
Сложность организации эукариотических организмов обусловливают огромное разнообразие их клеток, отличающихся не только у представителей различных царств органического мира, но и у одного и того же организма.



Ил. 39. Шаровидные клетки ночесветки (1), хлореллы (2)

Клетки *одноклеточных организмов* существуют как самостоятельные организмы и выполняют все жизненно важные функции. Одноклеточными эукариотами являются животнообразные организмы, одноклеточные водоросли и низшие грибы. Размеры и форма клеток таких организмов зависят от типа питания и среды обитания. Например, у многих обитателей водной среды клетки шаровидные, поскольку это простейшая форма, при которой возможны равномерное распределение поверхностного натяжения клеточных оболочек и наибольшая площадь клетки для получения энергии и веществ. Таковы клетки животнообразного существа ночесветки, зелёной водоросли хлореллы (*ил. 39*).

*Многоклеточные организмы* (животные, грибы, растения) состоят из клеток, имеющих сходную общую структуру. Однако форма, размеры и структура клеток зависят от функций, которые они выполняют в организме. Например, мышечные клетки удлинённые, нервные клетки благодаря большому количеству отростков приобрели звёздчатую форму, сперматозооны мелки, подвижны, яйцеклетки округлой формы и т. д. Образуются



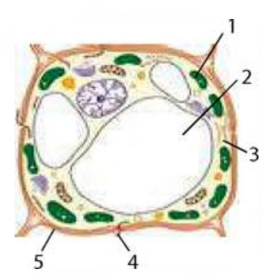
Ил. 40. Разнообразие клеток в организме гидры

такие клетки из первично однородных клеток в процессе дифференциации. Например, у пресноводной гидры различные типы клеток появляются из промежуточных (*ил. 40*), у млекопитающих – из стволовых.

Итак, разнообразие эукариотических клеток зависит от среды обитания и функций, которые они выполняют.

## Чем определяются особенности растительных клеток?

Характерными свойствами растительных клеток являются их способность к фотосинтезу и наличие ***пластид*** (хлоро-, хромо- и лейкопластов), в которых образуются и запасаются органические вещества. А запасают и накапливают растения преимущественно полисахарид ***крахмал*** (*ил. 41*).



Ил. 41. Признаки растительной клетки:
1 – пластиды; 2 – большая вакуоль; 3 – зёрна крахмала; 4 – плазмодесмы; 5 – клеточная стенка из целлюлозы

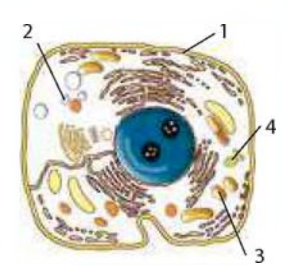
Надёжную защиту поверхности растительных клеток обеспечивает ***клеточная стенка из целлюлозы***, которую образуют многие единицы комплекса Гольджи. Для поступления веществ из среды в клеточной стенке есть поры, через которые в клетку поступают только растворимые в воде соединения. Поэтому для растительных клеток характерно *осмотическое питание*. Для обеспечения взаимодействия между клетками развиты ***цитоплазматические мостики*** (плазмодесмы). В растительных клетках находятся ***большие вакуоли***, участвующие в запасании веществ, регуляции содержания воды в цитоплазме и др.

Таким образом, основной особенностью растительных клеток является наличие пластид, резервного полисахарида крахмала, клеточной стенки из целлюлозы, цитоплазматических мостиков и крупных вакуолей.

Итак, **растительная клетка** – это тип клеток, особенности которой определяются фотоавтотрофным питанием и отсутствием способности к активному перемещению.

## Каковы отличия животных клеток от растительных?

**Животная клетка** – *это тип клеток, особенности которых формировались в связи с гетеротрофным питанием и способностью к активному перемещению*. На поверхности этих клеток нет жёсткой клеточной стенки, обеспечивающей возможность активного движения (*ил. 42*).



Ил. 42. Особенности животной клетки: 1 – гликокаликс; 2 – мелкие вакуоли; 3 – лизосомы; 4 – зёрна гликогена

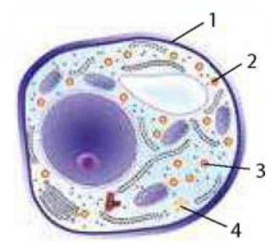
При встрече клетки с молекулами органических веществ её цитоплазматическая мембрана способна изгибаться, погружая молекулу, а выросты мембраны, захватывая вещество, соединяются. Результатом является образование фагоцитозного пузырька – фагосомы. Надмембранной структурой животных клеток является ***гликокаликс*** (от греч. *гликис* – сладкий и лат. *callus* – толстая кожа), состоящий из гликопротеидов и гликолипидов. Функции этой струк-

туры заключаются во взаимодействии клеток между собой и с другими клетками, восприятии раздражений, переносе веществ в клетку и из клетки. В связи с гетеротрофным питанием в животной клетке нет пластид. В цитоплазме имеются ***мелкие вакуоли***, по функциям делятся на пищеварительные (например, у губок, кишечнополостных), выделительные (например, у инфузорий), сократительные (например, у амёбы протея). Для расщепления сложных питательных веществ комплекс Гольджи образует многочисленные ***лизосомы*** с различными гидролитическими ферментами. Избыток белков, жиров или углеводов превращается в клетках животных в ***гликоген***. Этот резервный полисахарид имеет разветвлённую структуру, обеспечивающую, в случае необходимости, быстрое отщепление многих остатков глюкозы.

Итак, основными особенностями животной клетки являются отсутствие пластид, наличие гликокаликса, мелких вакуолей, многочисленных лизосом и запасание гликогена.

### Каковы структурно-функциональные особенности клетки грибов?

**Грибная клетка** – *это тип клеток, особенности которой определяются гетеротрофным питанием и отсутствием способности к активному перемещению.* Отсутствие локомоции усиливает важность такой структуры их поверхностного аппарата, как ***клеточная стенка из хитина*** (*ил. 43*). Она осуществляет не только защитную, но и другие важные функции, в частности является местом расположения гидролитических ферментов для внеклеточного пищеварения, участвует в поступлении простых питательных веществ из окружающей среды, придаёт форму клеткам тела и т. п. Большинству грибных клеток, как и растительным, присуще осмотическое питание. Клетки грибов поглощают растворимые органические соединения через поры в клеточной стенке без образования пищеварительных вакуолей. А ***резервные вакуоли***, наблюдаемые в цитоплазме, выполняют запасающую функцию. В цитоплазме содержатся многочисленные ***лизосомы*** с различными ферментами, благодаря которым грибы могут внешне переваривать самую разнообразную органику, особенно во влажных и тёплых условиях. Резервным полисахаридом является ***гликоген***.



Ил. 43. Признаки грибной клетки: 1 – клеточная стенка из хитина; 2 – многочисленные лизосомы; 3 – резервные вакуоли; 4 – зёрна гликогена

Итак, особенностью грибных клеток является наличие клеточной стенки из хитина, запасающих вакуолей, лизосом с богатым арсеналом пищеварительных ферментов, резервного полисахарида – гликогена.

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**

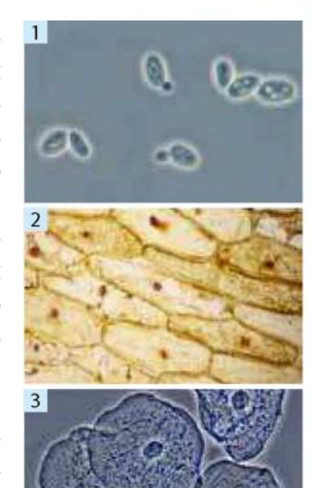
**Лабораторная работа 1**

**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗНООБРАЗИЯ КЛЕТОК**

**Цель:** развиваем умение изготавливать микропрепараты и рассматривать их с помощью микроскопа; совершенствуем умение сравнивать клетки растений, животных и грибов; формируем умение выполнять рисунки биологических объектов.

**Оборудование и материалы:** готовые микропрепараты клеток грибов, растений и животных, а также предметные и покровные стёкла, вода, пипетки, стеклянные палочки.

**Ход работы**




1. Рассмотрите под микроскопом готовые микропрепараты клеток грибов (дрожжей или мукора). Сравните увиденное с электронной микрофотографией и зарисуйте клетку гриба в рабочую тетрадь. На рисунке укажите клеточную стенку из хитина, ядро, запасающую вакуоль.
2. Изготовьте временный микропрепарат кожицы лука. Сравните увиденное с электронной микрофотографией и зарисуйте растительную клетку в рабочую тетрадь. На рисунке укажите клеточную стенку из целлюлозы, ядро, большую вакуоль и пластиды.
3. Изготовьте препарат эпителия ротовой полости в капле слюны, для чего проведите стеклянной палочкой по внутренней поверхности щеки, перенесите мазок на предметное стекло. Сравните увиденное с электронной микрофотографией и зарисуйте клетку в рабочую тетрадь. На рисунке укажите цитоплазматическую мембрану, ядро.
4. Сделайте выводы.

## ОТНОШЕНИЕ

Сравните клетки растений, грибов и животных. Определите причины различий между клетками. Примените знания о строении клеток для доказательства единства органического мира.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРОЕНИЯ ЭУКАРИОТИЧЕСКИХ КЛЕТОК**

| Признак | Клетка растений | Клетка грибов | Клетка животных |
|---|---|---|---|
| Клеточная стенка | | | |
| Пластиды | | | |
| Резервный полисахарид | | | |
| Вакуоли | | | |
| Лизосомы | | | |



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Назовите основные группы эукариотических организмов. 2. Что такое растительная клетка? 3. Назовите особенности строения растительных клеток. 4. Что такое животная клетка? |
| 7 – 9 | 5. Назовите особенности строения животных клеток. 6. Что такое грибная клетка? 7. Что определяет разнообразие эукариотических клеток? 8. Чем определяются особенности растительных клеток? 9. Назовите отличия животных клеток от растительных и грибных. |
| 10 – 12 | 10. Каковы основные причины сходства и различий между клетками растений, животных и грибов? |

## Обобщение темы 2. СТРУКТУРА КЛЕТКИ

**КЛЕТКА** – наименьшая биологическая система, основная структурная и функциональная единица живого, способная к саморегуляции, самообновлению и самовоспроизведению. Клетка может существовать, если каждый из её структурных компонентов выполняет свои функции (*табл. 3*).

**Таблица 3. СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ СТРУКТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ КЛЕТКИ**

| Структуры и их изображение | Особенности строения | Функции |
|---|---|---|
| Клеточная мембрана | Часть поверхностного аппарата из липидов, белков и углеводов. Липиды определяют свойства мембраны, белки и углеводы – функции | Транспортная, метаболическая, защитная, рецепторная, контактная, опорная |
| Ядро | Поверхностный аппарат (ядерная оболочка из двух ядерных мембран, ядерные поры, ядерная пластинка)<br>Внутренняя среда (ядерный сок, ядрышко, хроматин) | Сохраняет наследственную информацию; управляет процессами жизнедеятельности; образует рибосомы |
| Пластиды | Двумембранные полуавтономные растительные органеллы клетки. Три вида: хлоропласты, хромопласты, лейкопласты | Фотосинтезирующая, окрашивающая, запасающая |
| Митохондрии | Двумембранные полуавтономные эукариотические энергетические органеллы клетки | Клеточное дыхание. Окисление органических соединений. синтез АТФ |
| ЭПС | Сложная трёхмерная мембранная система, пронизывающая всю гиалоплазму; различают гладкую и шероховатую ЭПС | Синтез белков, липидов, углеводов. Транспортирование веществ, образование вакуолей |
| Аппарат Гольджи | Группы цистерн, которые разветвляются на трубочки и систему мелких пузырьков | Накопление и секреция веществ. Образование лизосом |
| Лизосомы | Одномембранные пузырьки, содержащие гидролитические ферменты (протеазы, липазы, амилазы) | Внутриклеточное пищеварение |
| Вакуоли | Разделённые мембраной участки клетки, заполненные жидкостью. Типы вакуолей: пищеварительные, сократительные, запасающие, осморегуляторные | Тургорная, запасающая, выделительная, окрашивающая, пищеварительная, осморегуляторная |
| Клеточный центр | Две центриоли, стенки которых образованы из 9 триплетов микротрубочек. Расположены в центросфере | Участие в делении клеток. Организация цитоскелета |
| Рибосомы | Сферические тельца из большой и малой субъединиц. Расположены в цитоплазме, на гранулярной ЭПС, в митохондриях и хлоропластах | Синтез белков |
| Органеллы движения (псевдоподии, жгутики и реснички) | Выросты цитоплазмы, покрытые плазматической мембраной | Двигательная, чувствительная, защитная |

## Самоконтроль знаний

### Тест-применение 2. СТРУКТУРА КЛЕТКИ

**I. Задания на выбор правильного ответа**

**1.** Назовите соединения, образующие клеточные мембраны.
**А** белки **Б** белки, фосфолипиды
**В** белки, углеводы **Г** фосфолипиды

**2.** Назовите вид транспорта, с помощью которого амёбы захватывают частички пищи.
**А** диффузия **Б** осмос **В** фагоцитоз **Г** пиноцитоз

**3.** Назовите изображённую органеллу и группу, к которой она относится.
**А** лизосома; одномембранные
**В** клеточный центр; немембранные
**Б** митохондрия; двумембранные
**Г** псевдоподия; органеллы движения

**4.** Какую функцию выполняет органелла клетки, указанная на иллюстрации?
**А** расщепление веществ **Б** клеточное дыхание
**В** осморегуляцию **Г** организацию цитоскелета

**5.** Какой из примеров иллюстрирует превращение лейкопластов в хлоропласты?
**А** созревание томатов **Б** образование белой мякоти у клубники
**В** пожелтение лимонов **Г** позеленение клубней картофеля на солнце

**6.** У какого из организмов нет ядра в клетках?
**А** кишечная палочка **Б** амёба **В** мукор **Г** эвглена

**7.** Какие органеллы движения содержат лейкоциты человека?
**А** ложноножки **Б** жгутики **В** реснички **Г** щупальца

**8.** Рассасывание хвоста у головастиков лягушки озёрной происходит при участии ...
**А** рибосом **Б** хлоропластов **В** лизосом **Г** псевдоподий

**9.** Синдром хронической усталости развивается у человека из-за нарушения клеточного дыхания, за что отвечают ...
**А** ЭПС **Б** пластиды **В** митохондрии **Г** комплекс Гольджи

**II. Задания на установление соответствия**

**10.** Распознайте клетки и установите соответствие между названием и изображением клетки.
**А** клетка бактерии
**Б** клетка цианобактерии
**В** клетка растения
**Г** клетка животного

1 2 3 4

**11.** Установите соответствие между биологическими процессами и структурами клетки.
**А** синтез АТФ
**Б** осуществления фотосинтеза
**В** накопление и распределение белков
**Г** сохранение наследственной информации

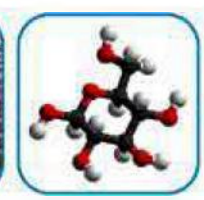
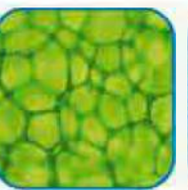
1 2 3 4

**III. Задание на выбор правильной комбинации ответов**

**12.** Выберите признаки, характеризующие клетку.



| **А** принадлежность | **Б** ядро | **В** клеточная стенка |
|---|---|---|
| **1** бактериальная | **1** имеется одно | **1** нет |
| **2** растительная | **2** имеются несколько | **2** из хитина |
| **3** грибная | **3** есть аналог – нуклеоид | **3** из целлюлозы |
| **4** животная | **4** имеются после деления | **4** из муреина |

# Тема 3. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЛЕТКИ

***Жизнь – это распределение веществ, энергии и информации для обеспечения её упорядоченности.***

*К. Свенсон*

## § 17. ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

**Основные понятия и ключевые термины: ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КЛЕТОК. Мембранное транспортирование. МЕТАБОЛИЗМ.**

**Вспомните!** Что такое клетка?

**Подумайте!**



*«Рассматривая живой мир на клеточном уровне организации, мы замечаем его единство:* ***единство состава*** *– основные макромолекулы у всех живых существ образованы из одних и тех же малых молекул,* ***единство строения*** *– каждая клетка содержит ядро, погружённое в протоплазму,* ***единство функций*** *– обмен веществ сходен в общих чертах во всех клетках»*, – так писал лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине (1965), французский микробиолог ***Андре Львов*** (1902–1994). Что же такое жизнедеятельность клетки?



### СОДЕРЖАНИЕ

**Какие процессы определяют жизнедеятельность клеток?**

ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КЛЕТКИ – *совокупность процессов, обусловливающих поток веществ, энергии и информации и обеспечивающих существование клетки.* Одним из основных принципов жизнедеятельности клетки является её ОТКРЫТОСТЬ. Клетка обменивается с окружающей средой веществами, энергией и информацией. В этом общем обмене можно выделить три этапа: поток в клетку, внутриклеточные преобразования и поток из клетки.

Поток веществ, энергии и информации в клетку происходит благодаря процессам ***питания, дыхания, транспортирования веществ, пищеварения*** и ***раздражительности.*** Эти процессы с участием поверхностного аппарата обеспечивают поступление в клетку питательных веществ, углекислого газа, воды, кислорода, световой или химической энергии, информации о факторах среды и т. п.




Ил. 44. Этапы внешнего обмена веществ, энергии и информации

Внутри клеток происходит второй этап обмена веществ, энергии и информации – внутриклеточный, или ***метаболизм***. Вещества, энергия и информация, поступившие в клетку, включаются в химические и физические преобразования энергетического и пластического обмена. В клетке с участием всех её структур синтезируются и расщепляются, окисляются и восстанавливаются, растворяются и кристаллизуются вещества. Световая энергия превращается в химическую, химическая – в механическую, электрическая – в химическую, и все эти метаморфозы сопровождаются потерями тепловой энергии. Прохождение всех процессов обеспечивается генетической информацией клетки.

На третьем этапе из клетки удаляются конечные продукты обмена, тепловая энергия, молекулы или энергия, являющиеся информацией для общения с другими клетками, и т. п. Основой этого этапа обмена веществ, энергии и информации являются такие процессы, как ***экскреция***, ***секреция***, ***теплоотдача*** и ***коммуникация клеток***.

Итак, жизнедеятельность клеток определяется её жизненными функциями, обусловливающими поток веществ, энергии и информации.

**Как происходит поступление веществ, энергии и информации в клетку?**

Основную роль в поступлении веществ, энергии и информации выполняет клеточная мембрана, одной из функций которой является именно транспортная. **Мембранное транспортирование** (лат. *transporto* – перемещаю) – *переход различных веществ, энергии и информации сквозь клеточную мембрану*. Малые молекулы и ионы проходят сквозь мембраны путём пассивного или активного транспортирования, а перенос макромолекул осуществляется за счёт эндо- и экзоцитоза.

**Пассивное транспортирование** происходит без затрат энергии путём простой диффузии, осмоса и облегчённой диффузии. *Простая диффузия* – движение молекул или ионов по градиенту концентрации, то есть из областей с высокой концентрацией в области с низкой концентрацией (например, газообмен в лёгких и тканях). *Облегченная диффузия* – диффузия, которая осуществляется с помощью специальных белков-переносчиков, как правило, в одном направлении (например, поступление глюкозы в эритроциты). Диффузию воды сквозь полупроницаемую мембрану называют *осмосом*. Вода переходит из области с низкой концентрацией солей в область с высокой концентрацией.

**Активное транспортирование** веществ сквозь мембрану осуществляется против градиента их концентрации с затратой энергии АТФ по ионным каналам или в мембранной упаковке. *Натрий-калиевый насос* – это процесс перемещения низкомолекулярных соединений (аминокислот, глюкозы) сквозь мембрану за счёт различной концентрации ионов $Na^+$ и $K^+$ внутри клетки и снаружи. *В мембранной упаковке* вещества транспортируются в клетку (эндоцитоз) или из клетки (экзоцитоз). Различают два вида эндоцитоза: фагоцитоз и пиноцитоз. *Фагоцитоз* (от греч. *фагос* – пожирать, *цитос* – клетка) – это захват и поглощение клеткой крупных частичек или целых клеток. Эндоцитоз жидкости и растворённых в ней веществ называется *пиноцитозом* (от греч. *пино* – пить и *клетка*). Путём эндоцитоза происходят процессы

всасывания веществ эпителиальными клетками слизистой оболочки тонкого кишечника и реасорбции веществ в канальцах почек. Экзоцитоз – это процесс выведения из клетки различных веществ сквозь мембрану. Путём экзоцитоза высвобождаются гормоны, жировые капли, медиаторы в синапсах при возбуждении и др.

Итак, упорядоченность и регуляцию потока веществ, энергии и информации в клетку и из клетки обеспечивает мембранное транспортирование.

**В чём суть внутриклеточных превращений веществ?**

**МЕТАБОЛИЗМ** (от греч. *метаболе* – преобразование, изменение) – *совокупность процессов, обеспечивающих преобразование веществ, энергии и информации в клетке и её саморегуляцию, самообновление и самовоспроизведение*. Эти изменения направлены на УПОРЯДОЧЕННОСТЬ структуры и функций клетки. Значение метаболизма заключается в обеспечении клетки строительным и энергетическим материалом, поэтому выделяют анаболизм и катаболизм (*ил. 45*).

**Анаболизм** (пластический обмен) – *совокупность реакций синтеза сложных веществ из более простых, которые обеспечивают рост клеток, обновление их химического состава*. В ходе этих биохимических реакций энергия поглощается, поэтому эти процессы называют *эндергоническими* (от греч. *эндо* – внутрь и *эргон* – энергия). Анаболическими процессами клетки являются фотосинтез, хемосинтез, биосинтез белков и др.

**Катаболизм** (энергетический обмен) – *совокупность реакций расщепления сложных веществ на более простые, которые обеспечивают клетку энергией для жизнедеятельности*. Процессы энергетического обмена сопровождаются освобождением энергии при разрыве химических связей, поэтому эти реакции называют *экзергоническими* (от греч. *экзо* – наружу). Катаболическими процессами клеток являются гликолиз, брожение, клеточное дыхание.

В клетках одновременно происходят процессы энергетического и пластического обмена. Они связаны между собой потоками веществ и энергии и осуществляются на основе наследственной информации клетки.

Для биохимических реакций метаболизма характерны определённые особенности, отличающие их от реакций неживой природы. Это,




Ил. 45. Схема метаболизма клеток

в первую очередь, их высокая скорость и упорядоченность благодаря участию ферментов.

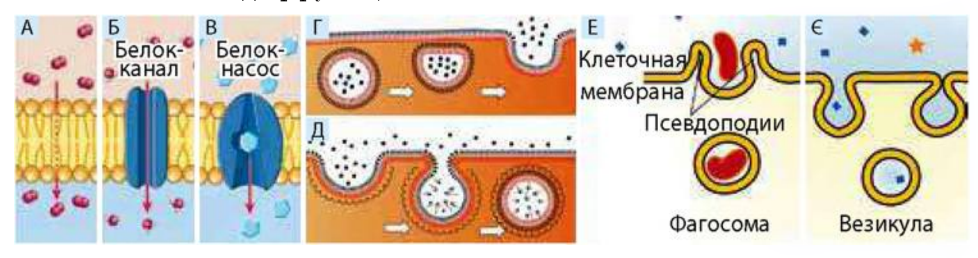
Итак, внутриклеточные преобразования веществ, энергии и информации являются совокупностью анаболических и катаболических процессов жизнедеятельности клетки.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Самостоятельная работа с иллюстрациями

Рассмотрите иллюстрации и сопоставьте вид транспортирования с их названиями. Виды мембранного транспортирования: 1 – фагоцитоз; 2 – пиноцитоз; 3 – экзоцитоз; 4 – эндоцитоз; 5 – простая диффузия; 6 – облегчённая диффузия; 7 – ионный насос.




### Биология + Физика

Термодинамика – раздел физики, который изучает общие закономерности энергетических процессов в системах. Такими закономерностями являются первый и второй законы термодинамики. Применяются эти законы термодинамики для характеристики клеток?



## ОТНОШЕНИЕ

Сравните пластический и энергетический обмен в клетке и докажите их взаимосвязь. Сделайте вывод о сходстве процессов обмена веществ у разных организмов.

| Признак | Пластический обмен | Энергетический обмен |
|---|---|---|
| Как ещё называют эти типы метаболизма? | | |
| Какие реакции являются основой? | | |
| Каковы превращения веществ? | | |
| Каковы преобразования энергии? | | |
| Какие ферменты катализируют реакции? | | |
| Примеры процессов | | |



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое жизнедеятельность клеток? 2. Назовите этапы внешнего обмена веществ и энергии клетки. 3. Что такое мембранное транспортирование? |
| 7 – 9 | 4. Назовите типы мембранного транспортирования клетки. 5. Что такое метаболизм? 6. Назовите два типа метаболизма клетки. 7. Какие процессы определяют жизнедеятельность клеток? 8. Как происходит поступление веществ, энергии и информации в клетку? 9. В чём суть внутриклеточных превращений веществ, энергии и информации? |
| 10 – 12 | 10. В чём заключается взаимосвязь пластического и энергетического обмена в клетке? |

*Главное свойство живого – способность высвобождать, превращать и использовать энергию извне.*
*Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор. Биология*

# § 18. РАСЩЕПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ

**Основные понятия и ключевые термины:** **КАТАБОЛИЗМ. Гидролиз. Биологическое окисление.**

**Вспомните!** Что такое питание?

**Подумайте!**

Энергия не возникает из ничего и никуда не исчезает, она может только переходить из одного вида в другой (закон сохранения энергии). А как происходит взаимопревращение энергии в клетке?

## СОДЕРЖАНИЕ

### Какое значение имеет расщепление органических веществ?

*Совокупность процессов, в ходе которых осуществляется поступление в клетку необходимых для жизнедеятельности веществ, называется* **клеточным питанием** (*ил. 46*). В клетки растений, цианобактерий, фото- и хемосинтезирующих бактерий поступают неорганические соединения, из которых образуются простые органические соединения, что определяет ***автотрофное питание***. Вследствие ***гетеротрофного питания*** клетки многих прокариотов, животных и грибов получают простые (аминокислоты, жирные кислоты, моносахариды) или сложные (белки, липиды и сложные углеводы) органические вещества. Есть в живой природе ещё группа организмов, которые на свету питаются с помощью хлоропластов, а в условиях недостаточного освещения поглощают через поры клеточной стенки низкомолекулярные органические вещества (например, хламидомонада, диатомовые водоросли). У них ***смешанное***, или ***миксотрофное***, ***питание***. Питание клеток происходит при участии клеточной мембраны, гиалоплазмы, хлоропластов, лизосом.

Расщепление простых или сложных органических веществ направлено на высвобождение химической энергии, которая может превращаться в другие формы. Следует помнить, что в биологических системах энергия существует в различных формах: химической, электрической, механической, тепловой и световой, которые способ-




Ил. 46. Одноклеточные организмы с разным типом питания: 1 – микрастериас (автотрофное); 2 – инфузория трубач (гетеротрофное); 3 – хламидомонада (миксотрофное)

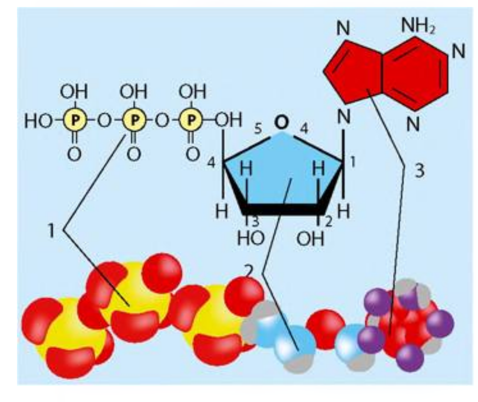
ны превращаться друг в друга. Так, химическая энергия соединений, что расщепились, используется для биохимических реакций синтеза, превращается в механическую энергию движения, электрическую энергию нервных импульсов, тепловую энергию для поддержания температуры тела, световую энергию биологического свечения.

Итак, расщепление органических веществ обеспечивает высвобождение химической энергии из питательных веществ, поступающих в клетки благодаря питанию.

**Как происходит расщепление органических соединений в клетках?**

**КАТАБОЛИЗМ** (от греч. *катаболе* – сброс вниз, разрушение) – *это энергетический обмен, или совокупность реакций расщепления сложных соединений до более простых, сопровождающегося выделением энергии*. Раздел биохимии, который занимается изучением преобразования и использования энергии в живых клетках, называется ***биоэнергетикой***. Энергетика катаболических процессов отличается от энергетических реакций неживой природы.

*Первой* особенностью является то, что реакции катаболизма происходят при участии ферментов *оксидоредуктазы* и *гидролазы*. Благодаря их упорядоченному расположению на клеточных мембранах или в отсеках, отделённых мембранами, эффективность реакции катаболизма высока. Из-за этого преобразование химической энергии в другие формы осуществляется без значительных тепловых потерь. Так, коэффициент полезного действия (КПД) обычного двигателя составляет 20 – 25 %, а митохондрий – 60 – 70 %.




Ил. 47. Структурная формула и масштабная модель молекулы АТФ:
1 – остатки ортофосфатной кислоты;
2 – моносахарид рибоза; 3 – азотистое (нитратное) основание аденин

*Второй* особенностью катаболизма является то, что высвобождение энергии в реакциях расщепления происходит постепенно, вплоть до образования конечных продуктов окисления – воды и углекислого газа. Например, при полном расщеплении 1 моль глюкозы выделяется около 2 800 кДж энергии. Высвобождение всего этого количества энергии сразу для клетки означало бы мгновенную смерть.

*Третьей* особенностью катаболизма является то, что химическая энергия, которая высвобождается при разрушении химических связей молекул углеводов, липидов, белков, аккумулируется в молекулах особого вещества живого – аденозинтрифосфатной кислоты (АТФ) (*ил. 47*). Аккумулированная энергия этого универсального соединения доступна для различных процессов жизнедеятельности клетки.

Итак, расщепление органических веществ в клетках отличается от химических реакций разложения и называется КАТАБОЛИЗМОМ.

## Каковы основные пути расщепления органических веществ?

Питательные органические вещества, поступающие или образующиеся в клетках, делятся на малые биомолекулы и макромолекулы.

Макромолекулы расщепляются в клетках благодаря ***гидролизу*** (от греч. *гидро* – вода, *лизис* – расщепление). Это реакции обменного взаимодействия молекул с водой при участии ферментов-гидролаз. Белки с помощью протеаз расщепляются до аминокислот, жиры при участии липаз – до жирных кислот и глицерола, углеводы с помощью амилаз – до моносахаридов. При этом выделяется около 0,8 % энергии, т. е. энергетический эффект этого этапа незначителен, и вся энергия рассеивается в виде теплоты. Этот путь расщепления происходит в участках цитоплазмы с высоким содержанием воды или в пищеварительных вакуолях.

Дальнейшее расщепление малых молекул питательных веществ происходит путём ферментативных окислительно-восстановительных реакций, а вся их совокупность называется ***биологическим окислением***. Это реакции переноса электронов с одной молекулы на другие, катализируемые оксидоредуктазами. Большинство процессов окисления в организме сопровождается отщеплением водорода от органических веществ. Основными субстратами биологического окисления являются углеводы и жиры, именно их катаболизм даёт наибольшее количество химической энергии. Биологическое окисление в клетках может быть безкислородным и кислородным.

***Бескислородное расщепление*** (анаэробное расщепление) происходит в гиалоплазме и приводит к высвобождению незначительного количества энергии. На этом этапе органические соединения расщепляются без участия кислорода. Отщепившийся водород присоединяется целым рядом молекул, вследствие чего образуются различные продукты восстановления (например, молочная кислота), которые обладают значительным запасом энергии. Бескислородное расщепление – простейшая форма образования энергии во многих клетках. Важнейшими на этом этапе в клетках являются *гликолиз* (бескислородное расщепление моносахаридов), липолиз (расщепление запасных жиров и жирных кислот), протеолиз (расщепление белков и аминокислот), брожение (расщепление углеводов под действием микроорганизмов).

Второй, гораздо более эффективный путь расщепления органических веществ, – это ***кислородное расщепление*** (аэробное расщепление, клеточное дыхание). Оно происходит в матриксе и на кристах митохондрий при участии кислорода; при этом высвобождается основная часть энергии (более 90 %). Во время аэробного расщепления электроны и протоны водорода через ряд промежуточных соединений передаются на молекулярный кислород с образованием воды. Кроме того, выделяется $CO_2$, а при расщеплении азотосодержащих соединений (аминокислоты, нуклеотиды) ещё и аммиак, который в дальнейшем подлежит обезвреживанию.

Итак, расщепление органических веществ в клетке осуществляется благодаря гидролизу и биологическому окислению, происходящим путём бескислородного и кислородного расщепления.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Распознайте изображённые на иллюстрациях клетки и сравните с помощью таблицы их особенности питания и расщепления органических веществ.




| Признак | Объект 1 | Объект 2 |
|---|---|---|
| Название | | |
| Тип питания | | |
| Какие вещества поступают в процессе клеточного питания? | | |
| Какой вид мембранного транспорта обеспечивает поступление? | | |
| Что с ними происходит в клетке? | | |
| Какие вещества расщепляются в клетке? | | |
| Где происходит расщепление органических соединений в клетке? | | |

### Биология + Химия

Горение, по современным представлениям, – сложный физико-химический процесс на основе экзотермических окислительно-восстановительных реакций, характеризующихся значительной скоростью выделения большого количества теплоты и света. При горении, как правило, образуется пламя. Горение возникает, если есть горючее вещество, окислитель и источник зажигания. А чем биологическое окисление отличается от горения?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Физика



Самыми известными из электрических скатов являются представители рода *Torpedo* (от лат. *torpere* – парализовать). Сила тока, которую генерируют скаты, различна в зависимости от вида. Например, *атлантический торпедо* (*Torpedo nobiliana*) может давать разряды в 220 В, но для большинства видов эта цифра меньше и составляет 5 – 40 В. Сильные разряды используют для оглушения жертв, тогда как слабые – для електроэхолокации и определения объектов охоты, для коммуникации. Оцените значение клеточного дыхания для обеспечения этих энергетических потребностей.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое клеточное питание? 2. Назовите типы питания. 3. Что такое катаболизм? 4. Назовите особенности катаболизма. 5. Назовите основные пути расщепления органических соединений. 6. Что такое биологическое окисление и гидролиз? |
| 7 – 9 | 7. Какое значение имеют питание и расщепление органических соединений для клеток? 8. Как происходит расщепление органических соединений в клетках? 9. Каковы основные пути расщепления органических соединений в клетках? |
| 10 – 12 | 10. Как происходит взаимопревращение энергии в клетке? |

*Основное значение дыхания – это высвобождение химической энергии питательных веществ.*
Детская энциклопедия «Аванта +»

# § 19. КЛЕТОЧНОЕ ДЫХАНИЕ, ЕГО БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ

**Основные понятия и ключевые термины:** КЛЕТОЧНОЕ ДЫХАНИЕ. АНАЭРОБНОЕ ДЫХАНИЕ. АЭРОБНОЕ ДЫХАНИЕ.

**Вспомните!** Что такое дыхание?

## Вступительное упражнение



Определите последовательность процессов пищеварения в организме человека после того, как в его ротовую полость попал кусочек шоколадно-бананового торта: *г) полостное переваривание в двенадцатиперстной кишке белков, жиров и углеводов; э) медленное измельчение пищи и её увлажнение; н) расщепление амилазами слюны углеводов, имеющихся в торте; е) склеивание пищи в пищевые комочки и их перемещение пищеводом в желудок; и) окончательное пристенное пищеварение сложных молекул и всасывание малых молекул в кровь и лимфу; р) расщепление в желудке бисквитных белков и жиров молока; я) транспортирование аминокислот, жирных кислот и глюкозы в клетки с помощью крови и лимфы.* Какое слово получили?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каково биологическое значение клеточного дыхания?

Основные питательные вещества для клеток – это аминокислоты, жирные кислоты и глюкоза. Дыхание является процессом, при котором эти вещества расщепляются и высвобождают химическую энергию. Выделяют два основных типа клеточного дыхания: анаэробный и аэробный.

АНАЭРОБНОЕ ДЫХАНИЕ – *совокупность процессов биологического окисления питательных веществ и получения энергии в отсутствие кислорода*. Свойственно для клеток организмов, которые живут в бескислородных условиях (например, *молочнокислые бактерии, паразитические черви, глубоководные беспозвоночные*). В клетках аэробных организмов этот механизм всегда предшествует кислородному расщеплению питательных веществ. При анаэробном дыхании конечным продуктом являются органические молекулы молочной кислоты ($C_3H_6O_3$). При анаэробном дыхании выделяется значительно меньше энергии, чем при аэробном.

АЭРОБНОЕ ДЫХАНИЕ – *совокупность процессов биологического окисления питательных веществ и получения энергии с участием кислорода*. Расщепление органических веществ происходит с образованием конечных продуктов окисления $H_2O$ и $CO_2$. Аэробное дыхание характерно для подавляющего большинства эукариотических клеток. Начинается гликолиз в цитоплазме и продолжается в митохондриях.

При аэробном окислении кислород служит акцептором (приёмником) электронов и протонов водорода с образованием воды. Аэробное дыхание – самый совершенный способ получения энергии. Его энергетический эффект примерно в 20 раз больше, чем при анаэробном дыхании.

Процессы дыхания сходны по многим признакам в клетках организмов разных царств живой природы. Признаками сходства являются образование таких универсальных веществ, как пировиноградная кислота и АТФ, использование кислорода в роли акцептора электронов и водорода, расщепление до конечных продуктов $H_2O$ и $CO_2$ и т. д.

Итак, **ДЫХАНИЕ КЛЕТКИ** – это совокупность процессов биологического окисления питательных веществ с высвобождением химической энергии, которая аккумулируется в АТФ.

### Какие процессы являются основой анаэробного дыхания клеток?

Большинство клеток для высвобождения энергии в процессах дыхания прежде всего используют глюкозу. Интересно, что есть клетки (например, клетки мозга, скелетных мышц, зрелые эритроциты), которые получают энергию только из молекул этого моносахарида.

Почему же глюкоза является основным источником энергии для клеток? Полярные молекулы глюкозы очень хорошо взаимодействуют с водой, поэтому легко и быстро перемещаются в клетке, их транспортирование в клетку осуществляется путём облегчённой диффузии, что не требует затрат энергии. Кроме того, глюкоза может превращаться клетками в резервные углеводы: в растительной клетке – в крахмал, в клетках животных и грибов – в гликоген.

Древнейшим и универсальным процессом бескислородного расщепления глюкозы является гликолиз (от греч. *сладкий* и *расщепление*), происходящий в цитоплазме клеток. **Гликолиз** – *совокупность ферментативных реакций, обеспечивающих бескислородное расщепления молекул глюкозы с образованием молочной кислоты и АТФ*. Гликолиз – это процесс, общий для анаэробного и аэробного дыхания. Энергетический эффект гликолиза – около **200 кДж** (120 кДж – на теплоту, 80 кДж – на АТФ):

$$C_6H_{12}O_6 + 2АДФ + 2H_3PO_4 \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2H_2O + \mathbf{2АТФ}.$$

Энергия гликолиза составляет лишь 5 – 7 % потенциальной энергии глюкозы. Несмотря на низкую эффективность, гликолиз имеет большое биологическое значение. Этот процесс обеспечивает организм энергией в условиях дефицита кислорода. Даже у позвоночных животных и человека гликолиз служит эффективным способом получения энергии во время коротких периодов интенсивного напряжения.

Ещё одним механизмом анаэробного превращения глюкозы является брожение. **Брожение** – *процесс разложения органических веществ (в основном углеводов) в бескислородных условиях*. Процессы брожения Луи Пастер назвал «жизнью без кислорода». Брожение характерно для клеток дрожжей, молочнокислых бактерий, мукоровых грибов и др. Кроме спиртового и молочнокислого брожения у организмов ещё происходит масляно-, уксусно-, пропионовокислое, метановое и др.

Итак, основными процессами анаэробного дыхания в клетках являются гликолиз и брожение.

## Каковы основные стадии аэробного дыхания клеток?

Процессы жизнедеятельности клеток очень сложны. Но их понимание очень важно, поскольку именно на клеточном уровне определяются все жизненные функции организмов. В качестве иллюстрации этого утверждения рассмотрим аэробное дыхание клеток.

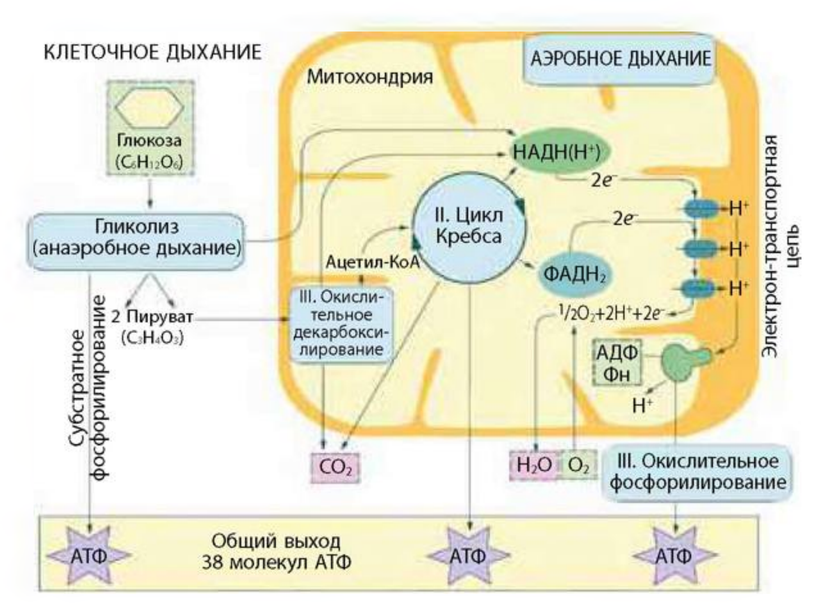
Кислородный этап дыхания происходит в митохондриях с участием кислорода, и при этом высвобождается основная часть энергии (более 90 %) с образованием $H_2O$ и $CO_2$. Энергетический эффект такого расщепления велик (например, для глюкозы – около 2600 кДж):

$$2C_3H_6O_3 + 6O_2 + 36H_3PO_4 + 36АДФ \rightarrow 6CO_2 + 42H_2O + \mathbf{36АТФ}.$$

На этом этапе катаболизма учёные выделяют три стадии: окислительное декарбоксилирование, цикл Кребса (или цикл трикарбоновых кислот) и окислительное фосфорилирование (*ил. 48*).

- **Первая стадия.** ***Окислительное декарбоксилирование*** – *это превращение пировиноградной кислоты (продукт бескислородного расщепления малых биомолекул) на ацетилкоэнзим А (ацетил-КоА).*
- **Вторая стадия.** ***Цикл Кребса*** (цикл трикарбоновых кислот) – *последовательность ферментативных реакций в матриксе митохондрий, в результате которых ацетил-КоА окисляется до* $CO_2$ *с высвобождением энергии и образованием атомов водорода.*
- **Третья стадия.** ***Окислительное фосфорилирование*** – *биосинтез АТФ из АДФ и неорганического ортофосфата за счёт энергии, высвобождаемой и аккумулируемой при участии ферментов дыхательной цепи. Этот процесс происходит на кристах митохондрий.*

Итак, благодаря реакциям кислородного этапа синтезируется в общей сложности 36 моль АТФ. Суммарным энергетическим результатом полного расщепления глюкозы является **2800 кДж** энергии (200 кДж + 2600 кДж), из которой в 38 молекулах АТФ аккумулиру-




Ил. 48. Клеточное дыхание

ется 55%, а 45% – рассеивается в виде теплоты. Полное уравнение расщепления глюкозы имеет вид:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38АДФ + 38H_3PO_4 \rightarrow 6CO_2 + 44H_2O + 38АТФ.$$

Итак, основную роль в обеспечении клеток энергией выполняет полное кислородное расщепление глюкозы.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на формирование практических умений

В процессе катаболизма глюкозы в мышцах человека произошло расщепление 4 моль глюкозы, из которых полному кислородному расщеплению подверглась лишь половина. Определите: а) сколько молочной кислоты (в молях) накопилось в мышцах; б) сколько всего выделилось энергии; в) сколько АТФ (в молях) образовалось?

| Дано: | *Решение* |
|---|---|
| $\nu$ ($C_6H_{12}O_6$) = 4 моль | Уравнение неполного расщепления глюкозы: |
| *m* ($C_3H_6O_3$) – ? | $C_6H_{12}O_6 + 2АДФ + 2H_3PO_4 \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2H_2O + 2АТФ$ |
| $E_{общ}$ – ? | Уравнение полного расщепления глюкозы: |
| $E_{АТФ}$ – ? | $C_6H_{12}O_6 + 6O_6 + 38АДФ + 38H_3PO_4 \rightarrow 6CO_2 + 44H_2O + 38АТФ$ |

1. Сколько молочной кислоты (в молях) накопилось в мышцах человека?
2. Какое количество энергии выделилось при неполном расщеплении 2 моль глюкозы и полном расщеплении 2 моль глюкозы?
3. Сколько АТФ (в молях) образовалось?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Здоровье

Расщепление питательных веществ в организме происходит в три этапа. С помощью таблицы сравните эти этапы. Докажите необходимость знаний о дыхании клеток для здорового образа жизни.

**ЭТАПЫ РАСЩЕПЛЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРИМЕРЕ УГЛЕВОДОВ**

| Признаки | Подготовительный этап | Бескислородный этап | Кислородный этап |
|---|---|---|---|
| Где происходит? | | | |
| Исходные продукты | | | |
| Конечные продукты | | | |
| Энергетический эффект, кДж / моль | | | |
| Количество энергии на теплоту, кДж / моль | | | |
| Количество энергии на АТФ, кДж / моль | | | |



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое дыхание клеток? 2. Назовите основные типы клеточного дыхания. 3. Что такое анаэробное дыхание? 4. Назовите основные механизмы анаэробного дыхания. 5. Что такое аэробное дыхание? 6. Назовите основные процессы аэробного дыхания. |
| 7 – 9 | 7. Каково биологическое значение клеточного дыхания? 8. Какие процессы являются основой анаэробного дыхания клеток? |
| 10 – 12 | 10. Почему кислородное расщепление органических соединений оказывается энергетически более эффективным, чем бескислородное? |

*Зверьки и звёзды, люди и растения –*
*у всех одна праматерь,*
*природа вечна, неисчерпаемая и неутомимая,*
*хотя время крылатое с ветром уносится...*
*Б.-И. Антонич. Из зелёных мыслей одного лиса*

## § 20. ФОТОСИНТЕЗ: СВЕТОВАЯ И ТЕМНОВАЯ ФАЗЫ

**Основные понятия и ключевые термины: ФОТОСИНТЕЗ. Хлорофилл. Световая фаза. Темновая фаза.**

**Вспомните!** Что такое пластический обмен?

### Подумайте!



Зелёный цвет довольно часто упоминается в стихах поэтов. Так, у Богдана-Игоря Антонича есть строки: «...поэзии кипучей и мудрой, как зелень», «...метель зелени, пожар зелени», «...растительных рек возвышается зелёное наводнение». Зелёный цвет – это цвет обновления, символ молодости, спокойствия, цвет природы. А почему растения зелёные?



### СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы условия фотосинтеза?

Фотосинтез (от греч. *фото* – свет, *синтезис* – сочетание) – чрезвычайно сложная совокупность процессов пластического обмена. Учёные выделяют три типа фотосинтеза: кислородный (с выделением молекулярного кислорода у растений и цианобактерий), безкислородный (при участии бактериохлорофилла в анаэробных условиях без выделения кислорода у фотобактерий) и бесхлорофиловый (при участии бактериородопсинов у архей). На глубине 2,4 км обнаружены зелёные серобактерии GSB1, которые вместо солнечного света используют слабые лучи чёрных курильщиков. Но, как писал К. Свенсон в монографии, посвящённой клеткам: «*Первичным источником энергии для живой природы является энергия видимого света*».

Наиболее распространённым в живой природе является кислородный фотосинтез, для которого необходимы энергия света, углекислый газ, вода, ферменты и хлорофилл. Свет для фотосинтеза поглощается хлорофиллом, вода доставляется в клетки сквозь поры клеточной стенки, углекислый газ поступает в клетки путём диффузии.

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2\uparrow$$

Основными фотосинтезирующими пигментами являются хлорофиллы. **Хлорофилы** (от греч. *хлорос* – зелёный и *филон* – листок) – *зелёные пигменты растений, при участии которых происходит фотосинтез*. Зелёный цвет хлорофилла – это приспособление для поглощения синих лучей и частично красных. А зелёные лучи отражаются от тела растений, попадают на сетчатку глаза человека, раздражают колбочки и вызывают цветные зрительные ощущения. Вот почему растения зелёные!

Кроме хлорофиллов у растений есть вспомогательные *каротиноиды*, у цианобактерий и красных водорослей – *фикобилины*. Зелёные

и пурпурные бактерии содержат *бактериохлорофиллы*, поглощающие синие, фиолетовые и даже инфракрасные лучи.

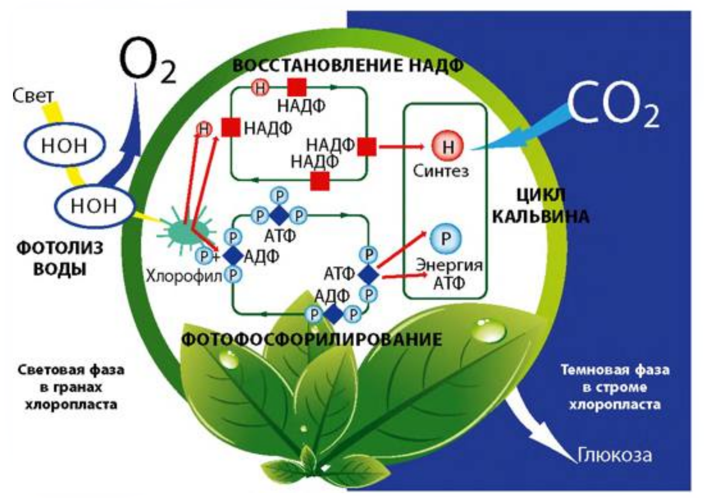
Фотосинтез происходит у высших растений, водорослей, цианобактерий, некоторых архей, то есть у организмов, известных как фотоавтотрофы. Фотосинтез у растений осуществляется в хлоропластах, у цианобактерий и фотобактерий – на внутренних впячиваниях мембран с фотопигментами.

Итак, **ФОТОСИНТЕЗ** – процесс образования органических соединений из неорганических с использованием световой энергии и при участии фотосинтезирующих пигментов.

### Каковы особенности световой и темновой фаз фотосинтеза?

В процессе фотосинтеза выделяют две стадии – световую и темновую фазы (*ил. 49*).

Световая фаза фотосинтеза происходит в гранах хлоропластов с участием света. Эта стадия начинается с момента поглощения квантов света молекулой хлорофилла. При этом электроны атома магния в молекуле хлорофилла переходят на более высокий энергетический уровень, накапливая потенциальную энергию. Значительная часть возбуждённых электронов передаёт её другим химическим соединениям для образования АТФ и восстановления НАДФ (*никотинамидадениндинуклеотидфосфат*). Это соединение с таким длинным названием является универсальным биологическим переносчиком водорода в клетке. Под действием света происходит процесс разложения воды – фотолиз. При этом образуются электроны ($e^-$), протоны ($H^+$) и как побочный продукт молекулярный кислород. Протоны водорода $H^+$, присоединяя электроны с высоким энергетическим уровнем, превращаются в атомарный водород, используемый для восстановления $НАДФ^+$ до НАДФ · Н. Таким образом, основными процессами световой фазы являются: 1) ***фотолиз воды*** (расщепление воды под действием света с образованием кислорода); 2) ***восстановление НАДФ*** (присоединение к НАДФ атома водорода); 3) ***фотофосфорилирование*** (образование АТФ из АДФ).




Ил. 49. Схема фотосинтеза

Итак, **светловая фаза** – совокупность процессов, обеспечивающих образование молекулярного кислорода, атомарного водорода и АТФ за счёт световой энергии.

***Темновая фаза*** фотосинтеза происходит в строме хлоропластов. Её процессы не зависят от света и могут протекать как на свету, так и в темноте, в зависимости от потребностей клетки в глюкозе. Основой темновой фазы являются циклические реакции под названием цикла фиксации углекислого газа, или цикла Кальвина. Этот процесс впервые изучил американский биохимик ***Мелвин Кальвин*** (1911–1997), лауреат Нобелевской премии по химии (1961). В темновой фазе из углекислого газа, водорода от НАДФ и энергии АТФ синтезируется глюкоза. Реакции фиксации $CO_2$ катализирует рибулозобисфосфаткарбоксилаза (Rubisco) – самый распространенный фермент на Земле.

Итак, **темновая фаза** – совокупность циклических реакций, которые благодаря химической энергии АТФ обеспечивают образование глюкозы с использованием углекислого газа, являющегося источником углерода, и воды – источника водорода.

### В чём заключается планетарная роль фотосинтеза?

Значение фотосинтеза для биосферы трудно переоценить. Именно благодаря этому процессу световая энергия Солнца превращается фотоавтотрофами в химическую энергию углеводов, которые в общем дают первичное органическое вещество. С него начинаются цепи питания, по которым энергия передаётся гетеротрофным организмам. Растения служат кормом травоядным животным, которые получают за счёт этого необходимые питательные вещества. Затем травоядные животные становятся пищей для хищников, им также необходима энергия, без которой жизнь невозможна.

Только незначительная часть энергии Солнца улавливается растениями и используется для фотосинтеза. Энергия Солнца в основном идёт на испарение и поддержание температурного режима земной поверхности. Итак, только около 40 – 50% энергии Солнца проникает в биосферу, и только 1–2% солнечной энергии превращается в синтезированное органическое вещество.

Зелёные растения и цианобактерии влияют на газовый состав атмосферы. Весь кислород современной атмосферы является продуктом фотосинтеза. Формирование атмосферы полностью изменило состояние земной поверхности, сделало возможным появление аэробного дыхания. В дальнейшем в процессе эволюции, после образования *озонового слоя*, живые организмы осуществили выход на сушу. Кроме того, фотосинтез препятствует накоплению $CO_2$, защищает планету от перегревания.

Итак, фотосинтез имеет планетарное значение, обеспечивая существование живой природы планеты Земля.

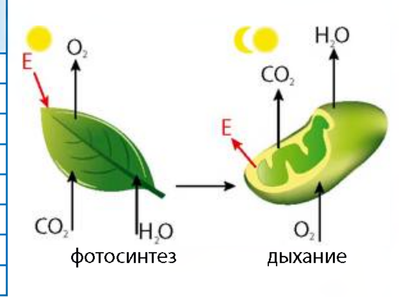
**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**

**Задание на сопоставление**

С помощью таблицы сравните фотосинтез с аэробным дыханием и сделайте вывод о взаимосвязи пластического и энергетического обмена.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОСИНТЕЗА И АЭРОБНОГО ДЫХАНИЯ**

| Признак | Фото-синтез | Аэробное дыхание |
|---|---|---|
| Тип метаболизма | | |
| Форма запасания энергии | | |
| Использование кислорода | | |
| Использование $CO_2$ | | |
| Использование света | | |
| Место прохождения | | |
| Как меняется сухая масса? | | |
| В каких клетках происходит? | | |




## Задание на применение знаний

Распознайте и назовите уровни организации процесса фотосинтеза у растений. Назовите приспособления растительного организма к фотосинтезу на разных уровнях его организации.






## ОТНОШЕНИЕ

**Биология + Литература**



***К. А. Тимирязев*** (1843–1920), один из наиболее известных исследователей фотосинтеза, написал: «*Микроскопическое зелёное зерно хлорофилла является фокусом, точкой в мировом пространстве, в которую с одного конца притекает энергия Солнца, а с другого берут начало все проявления жизни на Земле. Оно настоящий Прометей, похитивший огонь с неба. Похищенный им луч солнца горит и в мерцающей бездне, и в ослепительной искре электричества. Луч солнца приводит в движение и маховик гигантской паровой машины, и кисть художника, и перо поэта*». Примените свои знания и докажите утверждение о том, что луч Солнца приводит в движение перо поэта.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое фотосинтез? 2. Что такое хлорофилл? 3. Что такое световая фаза фотосинтеза? 4. Что такое темновая фаза фотосинтеза? 5. Что такое первичное органическое вещество? 6. Как фотосинтез определяет аэробное дыхание организмов? |
| 7 – 9 | 7. Каковы условия фотосинтеза? 8. Каковы особенности световой и темновой фаз фотосинтеза? 9. В чём заключается планетарная роль фотосинтеза? |
| 10 – 12 | 10. В чём сходство и различие фотосинтеза и аэробного дыхания? |

*Клетка – это отдельный микрокосм с чёткими границами, внутри которого происходят странные и непрерывные преобразования.*
*К. Свенсон*

# § 21. ХЕМОСИНТЕЗ. ПОТОК ВЕЩЕСТВ, ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ ИЗ КЛЕТКИ

**Основные понятия и ключевые термины:** ХЕМОСИНТЕЗ. ПЛАСТИЧЕСКИЙ ОБМЕН.

**Вспомните!** Что такое обмен веществ, энергии и информации?

**Знакомьтесь!**

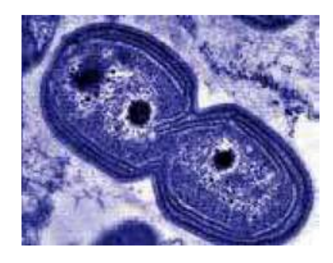


*Сергей Николаевич Виноградский* (1856–1953) – гениальный украинский микробиолог, впервые доказал, что клетки способны образовывать органические вещества не только за счёт световой, но и с помощью химической энергии. Открытое им явление было названо хемосинтезом. 25 мая 2012 г. в г. Городке Хмельницкой области был открыт памятник знаменитому соотечественнику.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы особенности и значение хемосинтеза?

ХЕМОСИНТЕЗ – *процесс образования органических веществ из неорганических благодаря энергии, высвобождаемой при преобразовании неорганических веществ.* Этот процесс осуществляют хемоавтотрофные бактерии: нитрифицирующие бактерии (окисляют аммиак до азотистой, а затем до азотной кислоты), железобактерии (превращают соединения двухвалентного железа в соединения трёхвалентного железа) и серобактерии (окисляют сероводород до сульфатов) (*ил. 50*).



Ил. 50. Нитрифицирующая бактерия нитрозомонас (*Nitrosomonas europaea*)

Высвобождённая энергия аккумулируется в клетках бактерий в форме АТФ. Хемосинтез происходит аналогично темновой фазе фотосинтеза. Особенностями хемосинтеза, которые отличают его от фотосинтеза, являются то, что этот процесс: а) осуществляется без участия света; б) происходит с использованием кислорода, то есть это аэробный процесс. Источником активного водорода для восстановления $НАДФ^+$, как и у фототрофов, является вода.

В планетарном масштабе хемосинтез составляет не более 1 % фотосинтеза, однако он имеет большое значение для биологического круговорота и геохимических преобразований. Значение хемотрофов важно для природы, поскольку они обеспечивают круговорот веществ (нитрифицирующие бактерии), участвуют в образовании горных пород (серобактерии, образующие свободную серу), вызывают коррозию металлов (железобактерии). Хемоавтотрофные организмы могут жить в океанах на больших глубинах, где есть ядовитый сероводород. Они окисляют

его и получают органические вещества для жизнедеятельности. Хемосинтезирующие бактерии, окисляющие соединения железа, марганца, распространены и в пресных водоёмах. Вероятно, что именно с их участием в течение миллионов лет на дне болот и озёр образовались залежи железных и марганцевых руд.

Итак, хемосинтез является важным для природы процессом пластического обмена, осуществляется без света с использованием кислорода.

**Каковы базовые принципы синтетических процессов в клетках и организмах?**

**ПЛАСТИЧЕСКИЙ ОБМЕН, или анаболизм** (от греч. *анаболе* – подъём), – *совокупность процессов синтеза органических веществ, происходящих в живом с использованием энергии*. Основными процессами синтеза, с которыми вы ознакомились, являются фотосинтез, хемосинтез, биосинтез белков, биосинтез ДНК и РНК.

Для синтетических процессов пластического обмена нужна энергия, то есть наблюдается его *энергозависимость*. Автотрофные организмы осуществляют биосинтез из неорганических веществ (воды и $CO_2$), используя энергию света (фотоавтотрофы) или энергию окислительно-восстановительных реакций (хемоавтотрофы). Гетеротрофные организмы осуществляют синтез собственных органических веществ, используя готовые питательные вещества как источник простых органических соединений и энергии. Поэтому пластический обмен взаимосвязан с энергетическим обменом, поскольку для синтеза нужны энергия и простые молекулы, образующиеся в реакциях распада. Но в любом случае энергия, которая используется для процессов пластического обмена, является химической энергией АТФ.

Все живые организмы требуют определённых веществ и энергии АТФ для *синтеза собственных органических веществ*. Этот принцип является жизненно важным для клетки, поскольку собственные органические молекулы не вызывают иммунных реакций отторжения, имеют определённое значение в жизнедеятельности, взаимосвязаны с другими молекулами. Все это обусловливает генетическую определённость подавляющего большинства реакций биосинтеза.

Для процессов пластического обмена характерна *этапность*, что объясняется усложнением продуктов и использованием безопасного количества энергии. Так, процессы фотосинтеза проходят в световой и темновой фазах, процессами биосинтеза белков являются транскрипция и трансляция.

В процессах пластического обмена участвуют почти все компоненты клетки, но сложные анаболические процессы происходят при участии специализированных клеточных структур. Так, фотосинтез у растений происходит в хлоропластах, синтез белков – на рибосомах, биосинтез липидов – в цистернах гладкой ЭПС. Процессы биосинтеза могут проходить и в цитоплазме, но только при определённых условиях.

Итак, базовыми принципами анаболизма являются энергозависимость, использование АТФ, направленность на синтез собственных органических веществ и этапность прохождения.

## Как происходят выделение и переход веществ из клетки?

Жизнедеятельность клеток сопровождается образованием самых разнообразных веществ. Так, по завершении *дыхания* образуются конечные продукты окисления $CO_2$, $H_2O$, $H_2O_2$, $NH_3$, при фотоавторофном питании выделяется молекулярный кислород, для внеклеточного пищеварения секретируются наружу ферменты. Для подавления жизнедеятельности других клеток бактериальные или грибные клетки выделяют антибиотики, при движении клеток усиливается теплоотдача и др. Болезнетворные бактерии *Helicobacter pylori* использует систему секреции, чтобы впрыснуть специальный белок в эпителиальные клетки желудка.

Разнообразие способов и веществ, выделяемых клетками, объединено в три типа выделения: 1) экскреция веществ; 2) секреция веществ; 3) внутриклеточное выделение.

***Экскреция*** (от лат. *excretio* – выделение) – совокупность процессов, направленных на вывод неиспользованных продуктов обмена веществ и энергии, а также чужеродных и вредных для клетки веществ. Эти соединения могут выделяться как в неизмененном виде (например, $CO_2$, $H_2O$), так и после значительных преобразований (например, расщепление пероксида водорода, преобразования аммиака в мочевину). Выведение осуществляют органеллы клеток или органы выделения у многоклеточных организмов.

***Секреция*** (от лат. *secretio* – отделение) – процессы образования и выделения клеткой веществ-секретов. В частности клетками секретируются различные сигнальные молекулы, антибиотические вещества для защиты от патогенов или конкурентов, экзоферменты для пищеварения, питательные вещества и т. п. Клеточная секреция характерна для всех живых клеток.

Своеобразным способом выделения являются ***внутриклеточное выделение*** и изоляция переведённых в труднорастворимую форму продуктов обмена (например, в уратных клетках насекомых откладывается мочевая кислота, в хлорагогенных клетках дождевых червей откладывается гуанин или мочевая кислота). Органические кислоты, которые могут нанести вред клетке, в основном связываются с катионами и откладываются в виде кристаллических включений в цитоплазме.

Переход веществ из клеток осуществляется путём диффузии через клеточные поры, облегчённой диффузии с помощью белков-переносчиков, путём экзоцитоза. Важную роль в выделении выполняют везикулы. Это относительно небольшие клеточные органеллы, отделённые от цитозоля липидной мембраной. Если у везикулы один слой липидов, она называется одноламелярной, если больше – многоламелярной. Везикула служит для хранения, транспортирования и переработки питательных веществ, продуктов и отходов клетки.

Итак, значение выделения заключается в поддержании гомеостаза клетки, защите органелл и важных веществ от вредного воздействия опасных веществ или клеток, коммуникации с другими клетками, обеспечении регуляции функций.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

Сравните хемосинтез и фотосинтез и сформулируйте вывод о сходстве и различии этих процессов пластического обмена.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХЕМО- И ФОТОСИНТЕЗА**

| Признак | Фотосинтез | Хемосинтез |
|---|---|---|
| Место в клетке | | |
| Тип питания | | |
| Источник энергии | | |
| Исходные вещества | | |
| Конечные вещества | | |
| Наличие хлорофилла | | |
| Источник водорода | | |
| Источник углерода | | |

### Биология + Экология

*Пещера Мовилэ* – пещера на территории Румынии, известная своей уникальной экосистемой. Жизнь в пещере развивалось отдельно от внешнего мира на протяжении 5,5 млн лет, и его основой является хемосинтез. Цепи питания основываются на хемосинтезе метано- и серобактерий. Интересно, какие экологические условия пещеры являются благоприятными для хемосинтеза?





Жители пещеры Мовилэ



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Экология

Исследователи из британского Университета Лафборо обнаружили, что ***росянка круглолистная*** (*Drosera rotundifolia*) – хищное растение, которое становится вегетарианцем в результате загрязнения окружающей среды, вызванного деятельностью человека. Дело в том, что увеличение уровня азота в почве в результате сжигания угля означает, что растению больше не нужно ловить насекомых для получения важнейших питательных веществ, необходимых для выживания. А как изменится пластический обмен росянки в связи с изменением её питания?





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое хемосинтез? 2. Приведите примеры хемоавтотрофных организмов. 3. Что такое пластический обмен? 4. Назовите основные синтетические процессы клеток и организмов. 5. Что такое экскреция клеток? 6. Что такое секреция клеток? |
| 7 – 9 | 7. Каковы особенности хемосинтеза? 8. Какие базовые принципы синтетических процессов в клетках и организмах? 9. Как происходит поток веществ из клетки? |
| 10 – 12 | 10. Сравните процессы фотосинтеза и хемоситнеза. Что общего и различного между фото- и хемосинтезом? |

# Обобщение темы 3. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЛЕТКИ

**КЛЕТКА** (от лат. *cellula* – ячейка) – *элементарная открытая биологическая система с собственным метаболизмом и процессами жизнедеятельности, которые осуществляются во взаимосвязи с окружающей средой.* Основными принципами жизнедеятельности клетки являются открытость, упорядоченность, взаимосвязь с внешней средой, структурно-функциональная целостность (*табл. 4*).

**Таблица 4. ОТДЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ КЛЕТКИ**

| Название | Значение | Участие клеточных структур |
|---|---|---|
| **I. Поступление веществ, энергии и информации в клетку** | | |
| Питание | Поступление питательных веществ (автотрофное, гетеротрофное и миксотрофное) | Клеточная мембрана, хлоропласты |
| Дыхание | Поступления $O_2$ и удаления $CO_2$ (анаэробное и аэробное дыхание) | Клеточная мембрана, гиалоплазма, митохондрии |
| Пищеварение | Расщепление путём гидролиза питательных веществ до малых биомолекул (вне- и внутриклеточное) | Лизосомы, пищеварительные вакуоли |
| Транспортирование веществ | Поступление и перемещение в клетке веществ, энергии (пассивное и активное транспортирование) | Клеточная мембрана, цитоплазма |
| Раздражительность | Восприятие воздействий среды (циторецепция) | Рецепторы плазматической мембраны |
| **II. Внутриклеточные преобразования веществ, энергии и информации, или метаболизм** | | |
| Катаболизм | Расщепление сложных веществ на простые с высвобождением энергии (гликолиз, липолиз, протеолиз, брожение, кислородное окисление) | Цитозоль, митохондрии |
| Анаболизм | Синтез сложных веществ из простых с использованием энергии (фотосинтез, хемосинтез, биосинтез белков, липидов) | Рибосомы, ЭПС, комплекс Гольджи |
| **III. Переход веществ, энергии и информации из клетки** | | |
| Экскреция | Удаление из клетки или изоляция в клетке избыточных, чужеродных, неиспользованных веществ | Плазматическая мембрана, ЭПС, экскреторные пузырьки |
| Секреция | Выделение веществ-секретов для взаимодействия со средой | Плазматическая мембрана, ЭПС, секреторные пузырьки |
| Коммуникация | Переход информации из клетки для взаимодействия со средой | Белки плазматической мембраны, межклеточные контакты |

Жизнедеятельность клеток как биологической системы обеспечивается совокупностью взаимосвязанных упорядоченных во времени и пространстве процессов, осуществляемых определёнными клеточными структурами. Эти процессы жизнедеятельности организуют непрерывный поток веществ, энергии и информации в клетку, в клетке и из клетки.

## Самоконтроль знаний

### Тест-применение 3. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЛЕТОК




Перед вами нейрон. Примените свои знания и с помощью ответов на тестовые задания охарактеризуйте жизнедеятельность нервной клетки.

**I. Задания с одним правильным ответом**

**1.** Каков тип питания у нейрона?
**А** автотрофное **Б** гетеротрофное **В** миксотрофное

**2.** Какие малые биомолекулы является основным источником энергии для нейрона?
**А** глюкоза **Б** жирные кислоты **В** аминокислоты **Г** нуклеотиды

**3.** Как называются образования нейронов для коммуникации с другими нервными клетками?
**А** десмосомы **Б** плазмодесмы **В** синапсы **Г** аксоны

**4.** Каков основной путь расщепления органических веществ у нейрона?
**А** гидролиз глюкозы **В** гликолиз
**Б** брожение **Г** аэробное расщепление

**5.** Какие структуры транспортируют сигналы от тела нейрона к мышцам или нейронам?
**А** синапсы **В** дендриты
**Б** аксоны **Г** миелиновая оболочка

**6.** В какой форме энергии передаются нервные сигналы по нейронным сетям?
**А** химической **Б** механической **В** электрической **Г** световой

**7.** Что является конечными продуктами окисления глюкозы в нейронах?
**А** $NH_3$, $CO_2$, $H_2O$ **В** мочевая кислота
**Б** $CO_2$, $H_2O$ **Г** пировиноградная кислота

**8.** Назовите соединения, образующиеся нейронами гипоталамуса.
**А** антибиотики **Б** фитогормоны **В** нейрогормоны **Г** гистогормоны

**9.** Какая клеточная структура транспортирует вещества внутри нейрона?
**А** ЭПС **Б** комплекс Гольджи **В** цитоскелет **Г** рибосомы

**10.** Где в нейронах происходят основные катаболические процессы?
**А** в пластидах **В** в цистернах ЭПС
**Б** на рибосомах **Г** в митохондриях

**II. Задание на установление соответствия**

**11.** Установите соответствие между процессами жизнедеятельности нейронов и клеточными структурами.

| | |
|---|---|
| **1** аэробное расщепление | **А** рибосомы |
| **2** синтез белков | **Б** плазмалема |
| **3** генерация нервных импульсов | **В** гранулярная ЭПС |
| **4** образование нейросекретов | **Г** митохондрии |

**III. Задание на выбор правильной комбинации ответов**

**12.** Выберите признаки, характеризующие межнейронный контакт.

| **А** Вещества, передающие сигнал | **Б** Образования, которые высвобождают вещества | **В** Образования, принимающие вещества |
|---|---|---|
| **1** нейрогормоны | **1** пузырьки-везикулы | **1** эффекторы |
| **2** нейромедиаторы | **2** митохондрии | **2** рецепторы |
| **3** алкалоиды | **3** рибосомы | **3** нейрофибриллы |
| **4** фитонциды | **4** тельца Ниссля | **4** медиаторы |

# Тема 4. СОХРАНЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

***Гены проявляют своё действие, определяя синтез белков, что является очень мощным способом влияния на окружающий мир.***
*Ричард Докинз*

## § 22. ГЕН И ЕГО СТРОЕНИЕ

**Основные понятия и ключевые термины:** **ГЕН. Структурные гены. Регуляторные гены.**

**Вспомните!** Что такое ядро?



### Новости науки



- Во время исследований учёные обнаружили гены, влияющие на уровень интеллекта.
- Учёные обнаружили группу генов, которые позволяют некоторым людям выглядеть на 10 лет моложе своего возраста.
- Учёные обнаружили в организме человека гены, отвечающие за регенерацию органов и тканей.

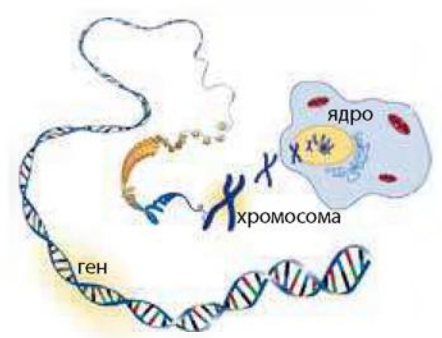
Что же такое гены?

### СОДЕРЖАНИЕ

### Как организована наследственная информация в клетках?

Кроме информации, которую клетка получает из среды, у неё есть собственная внутренняя наследственная информация. Клетка её получила от материнской клетки, и она закодирована в виде определённой последовательности нуклеотидов в генах (*ил. 51*).

**ГЕН** (от греч. *генос* – род, происхождение) – *это участок ДНК, содержащий информацию о первичной структуре молекулы белка или РНК и определяющий возможность развития признака*. Карие глаза человека, голубой цвет крови кальмара, толстый ствол баобаба, ядовитость мухомора зелёного – всё это определяется свойствами закодированных белков, синтезируемых в клетках.

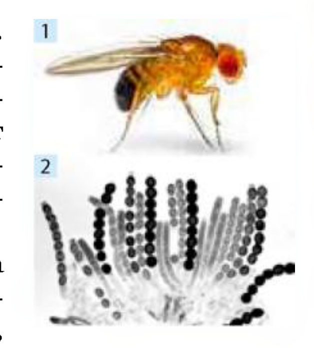



Ил. 51. Уровни организации наследственной информации (ядро – хромосома – ген – ДНК)

Представление о гене как о наследственном факторе существенно менялись и дополнялись. В 1865 г. Г. Мендель доказал существование наследственных «задатков», которые датский генетик ***В. Иогансен*** в

1909 г. назвал генами. В первой трети XX в. благодаря генетическим исследованиям дрозофил ***Т.Х. Морган*** установил, что гены линейно расположены в хромосомах ядра, они могут подвергаться мутациям, и при передаче от родителей к потомкам происходит их перераспределение – рекомбинация (*ил. 52*).

В начале 40-х годов XX в. исследование гриба нейроспоры (*Neurospora crassa*) позволило сформулировать понятие о генах как участках ДНК, а открытие Дж. Уотсоном и Ф. Криком пространственной структуры ДНК в 1953 г. дало начало бурному развитию ***молекулярной биологии гена***. Вскоре были открыты способы записи генетической информации (Р. В. Холли, Г. Г. Корана, М. В. Ниренберг) и механизмы её сохранения и реализации (С. Очоа, А. Корнберг). В дальнейшем были исследованы особенности организации генетического материала у прокариотов, эукариотов и вирусов, клеточных органелл – митохондрий и хлоропластов, механизмы контроля деятельности генов (Ф. Жакоб, А. Львов, Ж. Моно), открыты мобильные генетические элементы (Б. Мак-Клинток), прерывистая структура генов (Р. Робертс, Ф. Шарп), расшифрована структура геномов ряда организмов.




Ил. 52. Дрозофила фруктовая (1) и нейроспора густая (2) – модельные организмы для генетических исследований

Уже более 150 лет учёные изучают гены, сделаны научные открытия, объясняющие структуру, свойства, взаимодействие генов, но поиски ответов на вопрос «Что такое ген?» продолжаются.

Итак, наследственная информация записана на ДНК в виде генов, гены – в хромосомах, хромосомы организованы в ядре, а ядро благодаря этой генетической информации организует жизнедеятельность клетки.

### Каковы основные положения современной теории гена?

Научные знания, сформировавшиеся после многолетних исследований основ наследственности, обобщены в виде теории гена. Основные положения этой теории таковы.

1. Ген занимает определённый участок (локус) в хромосоме. Хромосомы являются материальными носителями наследственности.
2. Ген – часть молекулы ДНК, имеет определённую последовательность нуклеотидов и является функциональной единицей наследственной информации. Количество нуклеотидов, входящих в состав различных генов, различно.
3. Внутри гена могут происходить *рекомбинации* (перераспределение генетического материала) и *мутации* (изменения генетического материала).
4. Существуют *структурные* и *регуляторные гены*. **Структурные гены** кодируют синтез белков. **Регуляторные гены** контролируют и направляют деятельность структурных генов.

Ил. 53. Дж. Уотсон – один из авторов открытия пространственной структуры ДНК

5. Ген непосредственно не участвует в синтезе белка, он является матрицей для образования посредников – разных молекул РНК.
6. Расположение триплетов из нуклеотидов в структурных генах является подходящим (коллинеарным) к аминокислотам в полипептидной цепи, кодируемый данным геном.
7. Молекулы ДНК способны к *репарации*, поэтому не все повреждения гена приводят к мутации.
8. Генотип состоит из отдельных генов, но функционирует как единое целое. На функцию генов влияют факторы как внутренней, так и внешней среды.

Итак, понятие ген является центральным для молекулярной биологии и молекулярной генетики – наук, позволяющих понять суть жизни на молекулярном уровне её организации.

**Каковы функции, свойства и разнообразие генов?**

Ген как единица наследственности обеспечивает сохранение наследственной информации, участвует в реализации самоудвоения информации и регуляции метаболизма в клетке. Эти функции генов определяются такими их свойствами, как:

- *специфичность* – ген содержит наследственную информацию только об определённом продукте или регулирует синтез только одного конкретного белка;
- *стабильность* – гены способны сохранять свойственный им порядок расположения нуклеотидов;
- *лабильность* – гены способны к изменениям и могут мутировать;
- *взаимодействие генов* – гены способны влиять друг на друга при участии белков, являющихся продуктами реализации закодированной в них наследственной информации;
- *множественное действие генов* – один ген может влиять на развитие нескольких признаков;
- *полимерное действие генов* – несколько генов могут влиять на формирование одного признака.

По расположению в клетках выделяют *ядерные гены* и *цитоплазматические гены* (расположены в митохондриях и хлоропластах). По функциональному значению гены разделяют на *структурные* и *регуляторные*. Размеры регуляторных генов, как правило, незначительны – несколько десятков пар нуклеотидов, структурных – сотни и тысячи нуклеотидов. По характеру кодирующей информации выделяют белок-кодирующие гены и РНК-кодирующие гены. По активности различают конститутивные и неконститутивные гены. *Конститутивные гены* – это постоянно активные гены, так как белки, которые ими кодируются, необходимы для постоянной клеточной деятельности. *Неконститутивные* (*адаптивные*) *гены* – это гены, которые становятся активными, если белок, который они кодируют, нужен клетке.

Итак, **ГЕН** – это целостная единица наследственного материала в виде участка РНК или ДНК, расположенного в ядре (нуклеоиде) или цитоплазме, кодирующего первичную структуру полипептидной цепи или молекул рРНК и тРНК или взаимодействующего с регуляторным белком.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Сопоставьте предложенные определения с понятиями, заполните табличку ответов и получите название термина, которым обозначают процесс реализации наследственной информации.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |

| | |
|---|---|
| **1** Функциональная единица наследственной информации | **Э** Ген |
| **2** Материальные носители наследственной информации | **Е** Рекомбинация |
| **3** Малые молекулы, являющиеся мономерами нуклеиновых кислот | **И** Генотип |
| **4** Изменение генетического материала | **К** Хромосомы |
| **5** Механизмы исправления повреждений ДНК | **П** Мутация |
| **6** Перераспределение генетического материала | **Р** Репарация |
| **7** Участок расположения гена в хромосоме | **$С_1$** Нуклеотиды |
| **8** Совокупность генов организма | **$С_2$** Локус |
| **9** Совокупность реакций синтеза и распада веществ | **Я** Метаболизм |

**Биология + Поэзия**

У поэта Лины Костенко в стихотворении «Рана медведя» есть такие строки:

*Глухих лесов «прапрааборигены»,*
*людского духа даже не азы,*
*но как ни есть – спасибо вам за гены.*
*Пусть дальше совершенствуется жизнь.*



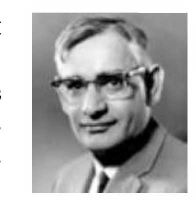
Выскажите свои суждения о практическом значении знаний о генах в различных областях деятельности человека.



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Наука

Впервые искусственный ген синтезировал индийский молекулярный биолог Х. Г. Корана (1922 – 2011) в 1970 г. Это был ген аланиновой тРНК дрожжей, состоящий из 77 нуклеотидов. В первых опытах он не проявлял функциональной активности. В 1976 г. учёному удалось синтезировать ген тирозиновой тРНК кишечной палочки, который после внесения в бактериальную клетку функционировал как природный. Каково научное значение искусственного синтеза генов?





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое гены? 2. Какое химическое соединение содержит гены? 3. Где содержатся гены в клетках? 4. Назовите типы генов. 5. Назовите основные функции генов. 6. Назовите основные свойства генов. |
| 7 – 9 | 7. Как организована наследственная информация в клетках? 8. Каковы основные положения современной теории гена? 9. Опишите функции, свойства и разнообразие генов. |
| 10 – 12 | 10. Какое научное и практическое значение имеют исследования генов? |

*От мегавеликого синего кита до микроскопической бактерии и субмикроскопического вируса – у всех информация закодирована в их геноме.*

Основы системной биологии

# § 23. ГЕНОМ ПРО- И ЭУКАРИОТОВ

**Основные понятия и ключевые термины: ГЕНОМ. Оперон. Экзоны. Интроны.**

**Вспомните!** Что такое гены?

## Новости науки

Исследуя геном бактерии *Mycoplasma mycoides*, учёные обнаружили 901 ген, из которых полезными, по их мнению, является лишь 473. Это наименьшее известное необходимое количество для выполнения клеткой всех жизненно важных функций. Сконструировав геном и искусственную бактерию JCVI-syn3.0, не содержащих ни одного лишнего гена, учёные обнаружили, что без «избыточной ДНК» клетка не способна жить. Как вы думаете, почему?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Как организован геном организмов?

**ГЕНОМ** – *совокупность наследственной информации в клетках организма определённого вида.* Геном объединяет основные компоненты, которыми являются структурные и регуляторные гены и нефункциональные (некодирующие) последовательности ДНК. Геномы клеточных организмов состоят из ДНК, и только отдельная группа вирусов имеет геномы, состоящие из РНК. Раздел биологии, изучающий геномы, называется ***геномикой***.

Наследственная информация клеток содержится не только в нуклеоиде и ядре, но и в структурах цитоплазмы. У прокариотов – это плазмиды (малые молекулы ДНК в цитоплазме), в клетках эукариотов – митохондрии и хлоропласты, имеющие собственные ДНК. Поэтому в клетках эукариотов кроме ядерного генома различают ещё митохондриальный и пластидный геномы.

Размер генома имеет тенденцию к увеличению по мере усложнения организмов. Так, геном кишечной палочки насчитывает 4,6 млн, геном дрозофилы – 130 млн, а геном человека – 3,2 млрд пар нуклеотидов. Увеличение размеров генома сопровождается увеличением количества генов. Так, в кишечной палочке структурных генов около 1000, у дрозофилы – до 10 тысяч, а у человека – 20 – 25 тысяч. Однако факты указывают на то, что размер генома не всегда соответствует эволюционной сложности организма. Так, крупнейший геном обнаружен у растения вороний глаз (*Paris japonica*). В нём 149 млрд пар нуклеотидов (*ил. 54*). До этого открытия крупнейшим считался геном двоякодышащей рыбы протоптерус (*Protopterus aethiopicus*) – 130 млрд пар нуклеотидов.



Ил. 54. Вороний глаз – растение с наибольшим геномом

Кроме того, установлено, что геном состоит из последовательностей нуклеотидов, отличающихся своей уникальностью. Различают уникальные (представлены в геноме в единственном экземпляре или в нескольких копиях) и повторяющиеся (встречаются сотни и тысячи раз, а так называемые сателлитные ДНК – до 10 млн раз) последовательности.

Исследование различных клеток и организмов показало, что большую часть генома составляет избыточная, или нефункциональная, ДНК, не содержащая информации о синтезе белков. Так, в кишечной палочке доля такой ДНК составляет 15 – 20 %, у дрозофилы – 90 – 95 %, а у человека – до 95 – 98 %. Каково же значение этой ДНК в геноме? Оказалось, что она выполняет важную регуляторную функцию: имеет последовательности нуклеотидов для организации начала синтеза РНК, защиты конечных участков хромосом, правильного распределения хромосом при делении клеток и т. д.

Итак, геном образован функциональными и нефункциональными последовательностями ДНК и РНК, осуществляющими структурную и регуляторную функции.

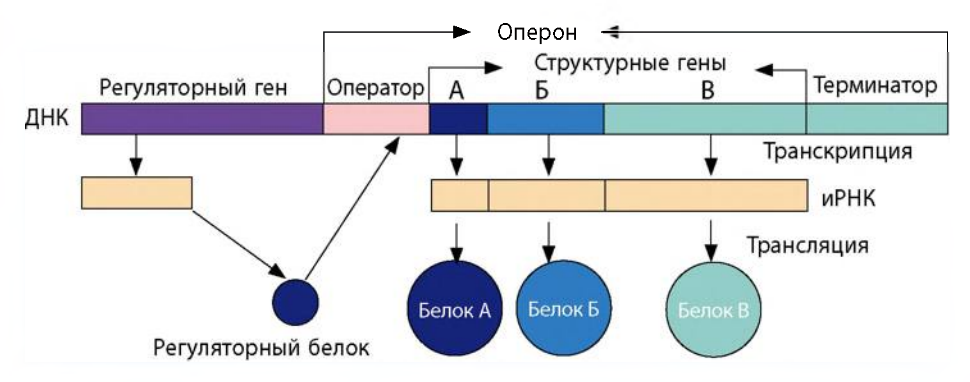
### Каковы особенности организации генов прокариотов?

У прокариотов генетический материал имеет оперонную организацию. Концепцию оперона предложили в 1961 г. французские учёные ***Франсуа Жакоб*** и ***Жак Моно***, за что получили Нобелевскую премию (1965).



Ил. 55. Жак Моно (*слева*) и Франсуа Жакоб

**Оперон** (от лат. *operor* – работаю) – *функциональная единица организации генома прокариотов*. В состав оперона входят один или несколько ***структурных генов***. Эти гены отвечают за синтез белков, вовлечённых в одну цепочку биохимических превращений (*ил. 56*). Так, лактозный оперон кишечной палочки содержит наследственную информацию о трёх белках, участвующих в поглощении и расщеплении лактозы. Структурные гены прокариоты не имеют мозаичной структуры, то есть в их составе нет деления на кодирующие (экзоны) и некодирующие (интроны) участки. Кроме структурных генов опероны имеют *регуляторные участки* (оператор, терминатор), за счёт которых обеспечивается активность оперона как целостной системы. На работу оперона влияет самостоятельный *регуляторный ген* (не путать с регуляторными участками), синтезирующий соответствующий регуляторный белок и не обязательно находящийся рядом с опероном. С появлением в окружающей среде лактозы её молекулы связывают этот регуляторный белок, препятствуя его присоединению к оператору. Структурные гены переходят в активное состояние и продуцируют одну молекулу иРНК для синтеза трёх белков. Таким образом, оперонная организация генома прокариотов обеспечивает упорядоченную и регулируемую активность генов в зависимости от условий среды и деятельности других генов.

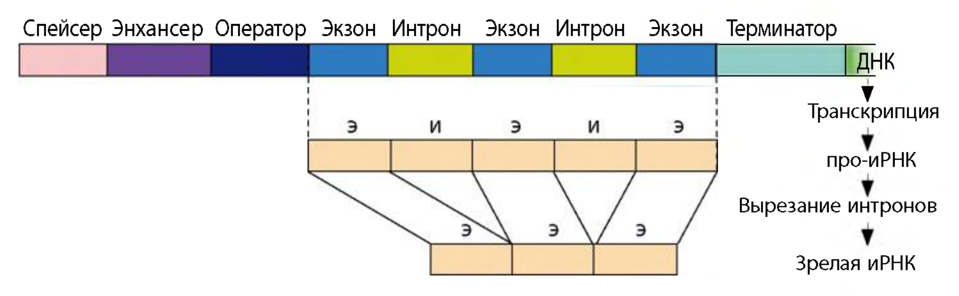



Ил. 56. Организация лактозного оперона в кишечной палочке

Итак, для генов прокариотов свойственны оперонная организация и отсутствие мозаичного строения.

**Каковы различия организации генов эукариотов?**

Гены эукариотов имеют сложное строение (*ил. 57*). Во-первых, в структурной части генов есть участки, кодирующие наследственную информацию – **экзоны** (от англ. *expression* – выражение), и участки, её не кодирующие – **интроны** (от англ. *intervening sequence* – промежуточная последовательность). Количество и расположение интронов специфичны для каждого гена. Такое строение структурных генов эукариотов называется мозаичным. Учёные считают, это может быть механизмом, который ограничивает мутационный процесс. При этом интроны выполняют функцию «ловушек» мутаций.




Ил. 57. Организация генома эукариотов

Во-вторых, усложняются и становятся разнообразными регуляторные участки. Так, перед оператором могут располагаться участки ДНК, влияющие на уровень транскрипции (например, энхансеры).

И в-третьих, увеличиваются размеры участков ДНК, которые отделяют гены друг от друга (спейсеров). У прокариотов в состав спейсеров входило несколько пар нуклеотидов, а у эукариотов эти участки значительно больше, содержат повторяющиеся последовательности ДНК (сателлитная ДНК, «прыгающие гены» и т. п.) и занимают значительную часть геномной ДНК. Если элементы спейсеров оказываются в экзонах структурных генов или рядом с ними, то функции генов изменяются.

Итак, гены эукариотов отличаются большими размерами, наличием мозаичной структуры и усложнением регуляторных генов и элементов.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

Примените свои знания и определите признаки, по которым сравнивают геномы кишечной палочки и человека. Сделайте вывод о взаимосвязи организации генома с уровнем сложности организмов.



**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНОМОВ ПРО- И ЭУКАРИОТОВ**

| Признак | Геном прокариотов (на примере кишечной палочки) | Геном эукариотов (на примере человека разумного) |
|---|---|---|
| | В виде нуклеоида и плазмид | В ядре и митохондриях |
| | Как правило, одна, имеет вид кольца | 46, каждая из которых имеет вид линейной структуры и образует одну хромосому |
| | Около 1 000 | 20 – 25 000 |
| | 4,6 млн пар нуклеотидов | 3,2 млрд пар нуклеотидов |
| | 15 – 20 % | 95 – 98 % |
| | Оперонная организация, отсутствие мозаичности структурных генов | Отсутствие оперонной организации, мозаичное строение структурных генов, усложнения регуляторных генов, увеличение спейсеров |

### Практическое упражнение

Молекула про-иРНК состоит из 1 800 нуклеотидов, из которых на интроны приходится 600 нуклеотидов. Определите длину и молекулярную массу зрелой иРНК.



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Наука




Проект «Геном человека» (англ. *Human Genome Project*) – международный проект научных исследований для определения последовательностей ДНК, расположения генов человека в хромосомах и их функций. Проект начался в 1990 г. И только в 2006 г. геном был раскодирован практически полностью, хотя и сейчас ещё проводят дополнительный анализ некоторых его участков. Оцените практическое и научное значение проекта «Геном человека» и назовите области применения этих знаний.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое геном? 2. Каковы функции генома? 3. Что такое оперон? 4. Назовите особенности организации генов прокариотов. 5. Что такое экзоны и интроны? 6. Назовите особенности генов эукариотов. |
| 7 – 9 | 7. Как организован геном организмов? 8. Каковы особенности организации генов прокариотов? 9. Каковы отличия организации генов эукариотов? |
| 10 – 12 | 10. В чём заключается выдающаяся роль генома клетки? |

***В каждой хромосоме есть сотни признаков, закодированных линейными рядами генов, подобно драгоценным жемчужинам в чудесном ожерелье жизни.***

*От автора*

# § 24. ХРОМОСОМЫ, ИХ ФУНКЦИИ И СТРОЕНИЕ

**Основные понятия и ключевые термины: ХРОМОСОМЫ. Кариотип.**

**Вспомните!** Что такое хроматин?

## Знакомьтесь!

Часто залогом научного открытия является сочетание качеств учёного с удачным выбором объекта исследования. Перед вами авторы открытия роли хромосом в наследственности.



***Томас Хант Морган*** (1866–1945) – выдающийся биолог, один из основателей генетики, лауреат Нобелевской премии в области физиологии и медицины (1933).



***Дрозофила фруктовая*** (*Drosophila melanogaster*) (продолжительность жизни при 25 °С – около 14 дней) – насекомое ряда Двукрылые, которая является незаменимым модельным объектом генетических исследований. У неё всего 4 пары хромосом ($2n=8$).



## СОДЕРЖАНИЕ

### Какова роль хромосом в наследственности?

ХРОМОСОМЫ (от греч. *хроматос* – окрашенный, *сома* – тельце) – *структуры клеток эукариотов, обеспечивающие сохранение, распределение и передачу наследственной информации*. Чаще других первооткрывателем хромосом называют немецкого анатома В. Флемминга (1843–1905). Именно он применил анилиновые красители для обработки ядерных структур. Термин «хромосомы» в 1888 г. ввёл в научный оборот Г. Вальдейер (1836–1921). Эти исследования положили начало ***цитогенетеке*** – разделу, изучающему роль хромосом в наследственности.

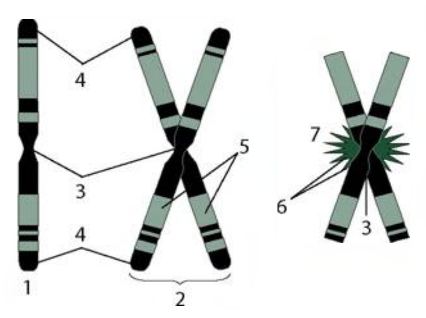
Хромосомы формируются из ядерного материала – хроматина перед делением клеток. В их составе основная доля приходится на ДНК и ядерные белки. Нуклеотиды ДНК кодируют наследственную информацию, а ядерные белки-гистоны организуют компактное пространственное расположение молекул ДНК для хранения этой информации. Перед делением клетки однохроматидные хромосомы удваиваются, уплотняются и становятся двухроматидными. Происходят эти процессы для распределения и передачи наследственной информации следующему поколению клеток.

Количество хромосом в клетках эукариотов различных видов различно и не зависит от уровня организации, а также не всегда указывает на филогенетическое родство (*табл. 5*).

**Таблица 5. ЧИСЛО ХРОМОСОМ У НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЭУКАРИОТОВ**

| Организм | Количество |
|---|---|
| Малярийный плазмодий | 2 |
| Муха комнатная | 12 |
| Помидоры | 24 |
| Человек разумный | 46 |
| Шимпанзе | 48 |
| Рак речной | 118 |
| Амёба протей | 500 |
| Радиолярии | 1600 |

Основные функции хромосом взаимосвязаны со строением. Для сохранения, распределения и передачи наследственной информации в хромосомах имеются такие элементы строения, как сайты начала репликации, центромеры и теломеры. *Сайты начала репликации* – последовательность нуклеотидов, определяющая начало самоудвоения молекулы ДНК. *Центромера* – часть хромосомы, разделяющая её на два плеча. На ней располагаются белки-кинетохоры, к которым при распределении генетического материала прикрепляются нити веретена деления. *Теломеры* – участки на концах хромосом, препятствующие их соединению между собой и восстановлению с помощью фермента теломеразы утраченных после разделения участков (*ил. 58*).



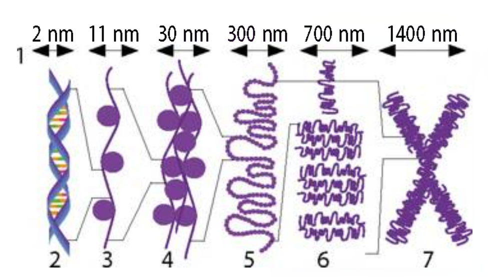

Ил. 58. Строение хромосомы:
1 – однохроматидная хромосома;
2 – двухроматидная хромосома;
3 – центромера; 4 – теломеры;
5 – сестринские хроматиды; 6 – нити веретена деления; 7 – кинетохоры

Итак, хромосомы являются материальными носителями наследственности всех эукариотических организмов, и их функции тесно взаимосвязаны с химическим составом и строением.

### Как происходят спирализация и конденсация хромосом?

В каждой хромосоме содержится только одна молекула ДНК, которая достигает нескольких сантиметров. Так, у человека длина ДНК крупнейшей хромосомы – около 7 см, а общая длина всех 46 молекул ДНК в одном ядре клетки человека составляет около 2 м. Каким образом хромосомы помещаются в микроскопическом ядре, размером 5 мкм? Это достигается за счёт **спирализации** и **конденсации** (от лат. *condensatio* – уплотнение) **хромосом**, обеспечивающих многоуровневую организацию хроматина (*ил. 59*). Возможности такой организации впечатляют. Так, у человека длина раскрученной ДНК малейшей хромосомы составляет около 14 000 мкм, а ее длина после уплотнения – только 2 мкм. Какие же есть уровни организации хромосом?

Двойная спираль молекулы ДНК на *нуклеосомном уровне* организации накручивается на ядерные частицы-нуклеосомы, состоящие из 8 – 10 белковых молекул. Хроматин приобретает вид ожерелья жемчуга (глобулы белка диаметром 11 нм) на нити (спираль ДНК), а уровень уплотнения – 6 – 7 раз. *Нуклеомерный уровень* возникает благодаря ***спирализации*** и формированию нуклеомерной фибриллы диаметром 30 нм с шагом спирали в 6 – 8 нуклеосом. Уровень уплотнения нити ДНК достигает 40 раз. *Хромомерный*




Ил. 59. Уровни организации хромосом:
1, 2, 3 – нуклеосомный; 4 – нуклеомерный; 5 – хромомерный; 6 – хроматидный;
7 – хромосомный

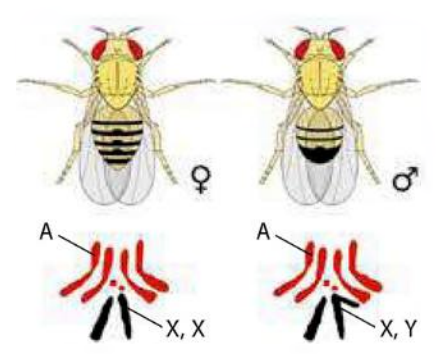
*уровень* связан уже не со спирализацией, а с образованием поперечных петель вдоль хромосомы при ***конденсации***. Общий уровень уплотнения достигает уже 1000 раз, а диаметр такой структуры – около 300 нм. *Хроматидный уровень* возникает в связи с последующим заключением структуры низшего уровня иерархии и образованием хроматиды диаметром 700 нм. *Хромосомный уровень* характерен для метафазной хромосомы, имеющей диаметр 1400 нм.

Итак, организация хромосом имеет многоуровневый иерархический порядок, благодаря которому уровень общего уплотнения достигает 7000 – 10000 раз.

## Каковы особенности организации набора хромосом?

**Кариотип** – *совокупность признаков хромосомного набора* (*количество хромосом, форма, размеры*). Каждому виду организмов присущ определённый кариотип (*ил. 60*). Основными правилами организации кариотипа являются:

- *правило специфичности* – особенности кариотипа особей вида зависят от количества, размеров и формы хромосом;
- *правило стабильности* – каждый вид эукариотических организмов имеет определённое и постоянное количество хромосом (например, у дрозофилы – 8 хромосом, у человека – 46);
- *правило чётности* – в диплоидном наборе ($2n$) каждая хромосома имеет себе пару, сходную по размерам и форме. Такие хромосомы называются ***гомологичными***;




Ил. 60. Кариотип дрозофилы фруктовой (самка – 6A + XX, самец – 6A + XY, где A – аутосомы, X, Y – половые хромосомы)

- *правило индивидуальности* – каждая пара гомологичных хромосом имеет свои особенности. Так, при сравнении хромосомных наборов мужских и женских особей одного вида наблюдается различие в одной паре хромосом. Эта пара получила название ***половых хромосом***. Остальные пары гомологичных пар хромосом, одинаковые у обоих полов, имеют общее название ***аутосомы***;
- *правило преемственности (непрерывности)* – в последующих поколениях клеток одного вида сохраняется не только постоянное число хромосом, но и их индивидуальные особенности.

Хромосомный набор бывает *диплоидным*, *гаплоидным*, *полиплоидным*. *Гаплоидный набор* – это половинный набор, в котором все хромосомы отличаются друг от друга строением (его условно обозначают $1n$). *Диплоидный набор* – это парный набор, в котором каждая хромосома имеет парную хромосому, сходную по строению и размерам ($2n$). *Полиплоидный набор* – это набор хромосом, кратный гаплоидному ($3n$, $4n$, $5n$ т. д.).

Итак, клетки каждого вида эукариотов имеют свой особый набор хромосом – кариотип.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

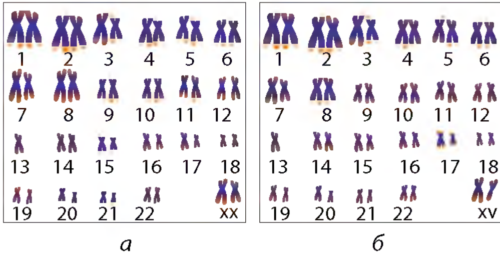
### Кроссворд «Хромосомы»

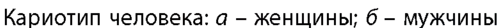
Получите в выделенных клетках название белка, который принимает участие в конденсации хромосом на первых её этапах.

1. Наука об особенностях хромосом.
2. Хромосомный набор.
3. Хромосомы, сходные у особей противоположного пола.
4. Первичная перетяжка хромосом.
5. Концевые участки хромосом.
6. Белки центромер, к которым прикрепляются нити веретена деления.

### Задание на применение знаний

Рассмотрите иллюстрацию кариотипа человека, укажите особенности его организации (количество, форма, размеры, различия по полу). Сделайте сокращённую запись кариотипов женщины и мужчины.



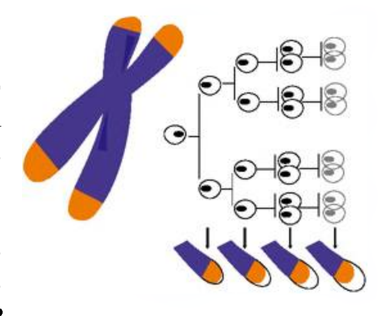

Кариотип человека: *а* – женщины; *б* – мужчины



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Наука

Американские учёные ***Э. Блэкберн***, ***К. Грейдер*** и ***Д. Шостак*** выяснили, каким образом хромосомы сохраняют свою целостность при делении клетки. Причина этого – в концах хромосом, известных как теломеры. За эти исследования учёные стали лауреатами Нобелевской премии 2009 г. в области физиологии и медицины. Какое значение для человека имеют эти и другие знания организации хромосом и кариотипа?





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое хромосомы? 2. Назовите функции хромосом. 3. Что такое конденсация хромосом? 4. Назовите уровни организации хромосом. 5. Что такое кариотип? 6. Назовите правила организации кариотипа. |
| 7 – 9 | 7. Какова роль хромосом в наследственности? 8. Как происходит конденсация хромосом? 9. Каковы особенности организации набора хромосом? |
| 10 – 12 | 10. Какое значение для человека имеют знания организации хромосом и кариотипа? |

*За сохранение наследственной информации отвечает ДНК, а РНК – лишь посредник в реализации этой информации.*
*Детская энциклопедия*

# § 25. ТРАНСКРИПЦИЯ. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ РНК

**Основные понятия и ключевые термины:** **Экспрессия генов. ТРАНСКРИПЦИЯ. иРНК. тРНК. рРНК.**

**Вспомните!** Что такое РНК и ДНК?

**Подумайте!**

Экспрессии (от лат. *expressio* – выражение) бывают разными. За создание новых *поэтических экспрессий* в американской песенной традиции лауреатом Нобелевской премии по литературе в 2016 г. стал Боб Дилан. Всемирно известная картина «Синий конь» прославила *художественную экспрессию* немецкого живописца Ф. Марка. *Литературная экспрессия* присуща произведениям таких известных украинских писателей, как В. Стефаник, А. Турянский, Н. Хвылевой. А что такое экспрессия в молекулярной биологии?



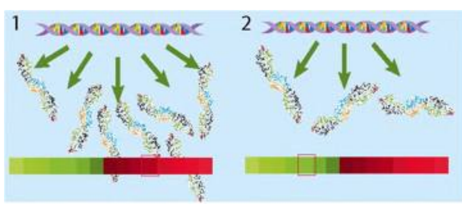
Франц Марк. Синий конь. 1911



## СОДЕРЖАНИЕ

### Какие особенности отличают экспрессию генов?

**Экспрессия генов** – *процессы использования наследственной информации генов для синтеза функциональных продуктов – молекул РНК и белков*. Если конечным продуктом экспрессии генов является белок, то процесс экспрессии называется биосинтезом белков, а ген – белковым. Если на генах ДНК синтезируются транспортные РНК, то это гены тРНК, если рибосомальные РНК – это гены рРНК. Биосинтез РНК называется транскрипцией. Таким образом, благодаря экспрессии генов в клетках появляются белки, иРНК, тРНК и рРНК.




Ил. 61. Экспрессия генов в молодой (1) и старой (2) клетках

Процесс экспрессии генов присущ всем неклеточным и клеточным организмам, но первым для реализации генетической информации нужна клетка хозяина. Реализация наследственной информации требует больших затрат энергии АТФ, большого количества ферментов и структур клетки.

Экспрессия генов активно регулируется и является основой роста и развития клеток и их адаптации к условиям окружающей среды. На реализацию наследственной информации влияют как внутренние (гормоны, факторы роста), так и внешние (темпе-



Ил. 62. Бледная поганка – ядовитый гриб, содержит аманитин

ратура, излучение, антибиотики) (*ил. 61*). Так, тормозящее действие на синтез РНК оказывает аманитин – ядовитое вещество из бледной поганки, которое действует на РНК-полимеразы и блокирует синтез иРНК (*ил. 62*).

Основой экспрессии генов являются ***реакции матричного синтеза*** *– это реакции синтеза новых молекул в соответствии с планом, заложенным в структуре молекул, которые уже существуют.* Матричный синтез является специфической особенностью живого.

Итак, экспрессия генов – это реализация наследственной информации клеток с образованием РНК и белков, происходящая с разной скоростью в разных клетках под воздействием условий среды.

**Как происходит транскрипция?**

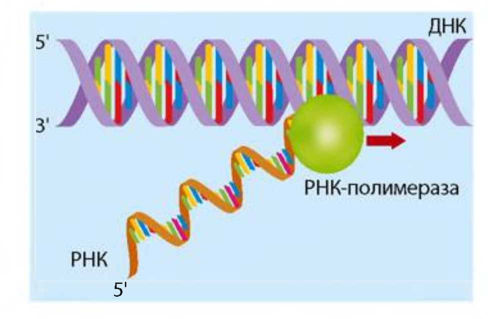
**ТРАНСКРИПЦИЯ** (от лат. *transcriptio* – переписывание) – *передача информации о первичной структуре белка с молекулы ДНК на иРНК, происходящая на основе принципа комплементарности.* Транскрипция катализируется ферментами РНК-полимеразы и осуществляется в ядре, а в прокариотических клетках – в нуклеоиде.

За открытие механизма синтеза РНК испанский биохимик С. Очоа вместе А. Корнбергом получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине (1959).

Уровень транскрипции генов чётко регулируется с помощью специальных белков (факторы транскрипции) и малых молекул РНК (явление РНК-интерференции). Эти воздействия имеют большое значение для адаптации организмов к изменениям условий среды, процессов развития, клеточного цикла и коммуникации клеток.

Обычно процесс транскрипции делится на 3 стадии. На начальной стадии транскрипции происходит расплетение ДНК и связывание РНК-полимеразы с промоторной последовательностью гена, что является сигналом для начала транскрипции. Следующей является стадия, во время которой наращивается цепь РНК, то есть происходит последовательное присоединение рибонуклеотидов на основе принципа комплементарности. Конечной стадией транскрипции является стадия завершения считывания информации с ДНК на РНК при достижении терминаторной последовательности гена. Результатом является образование первичной РНК (проРНК) (*ил. 63*).

После транскрипции в клетках эукариотов происходит созревание проРНК (процессинг). В результате процессинга проРНК превращается в зрелую информационную РНК (иРНК), которая экспортируется из ядра в цитоплазму.



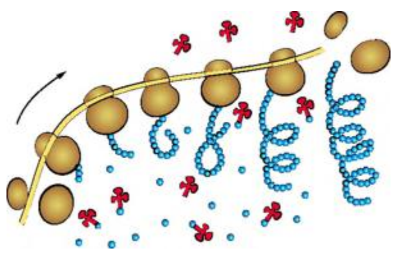
Ил. 63. Направление транскрипции

Итак, транскрипция – это процесс синтеза РНК с использованием ДНК как матрицы, происходящий во всех живых клетках.

### Чем и почему отличаются разные типы РНК между собой?

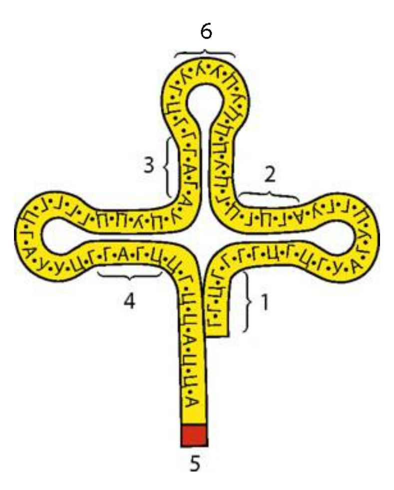
В процессе транскрипции образуются основные типы РНК – иРНК, тРНК, рРНК.

***Информационная*** (или ***матричная***) РНК (***иРНК***, или ***мРНК***) может содержаться в цитоплазме, ядре, митохондриях, хлоропластах, образовывать с рибосомами комплекс – *полисому*. Содержание иРНК в клетке – около 5 %. Количество нуклеотидов колеблется от 300 до 30 000, что зависит от сложности гена. Основные функции иРНК – перенос генетической информации от ДНК к рибосомам и непосредственное участие в синтезе белковых молекул (*ил. 64*).



Ил. 64. Схема строения полисомы (комплекс иРНК с рибосомами для быстрого синтеза многих молекул одного вида белка)

***Транспортные РНК (тРНК)*** составляют около 15 % всей РНК клетки. Эти молекулы содержатся в цитоплазме, митохондриях и хлоропластах, состоят из 70 – 90 рибонуклеотидов. Основная функция тРНК – перенос аминокислот к рибосомам, на которых синтезируются белковые молекулы. Каждый вид тРНК высоко специфичен, то есть переносит только конкретную аминокислоту. Транспортная РНК имеет *вторичную структуру*, которая поддерживается водородными связями и по форме напоминает листок клевера. У верхушки «листка» три нуклеотида, которые соответствуют определённой аминокислоте по генетическому коду. Они называются *антикодоном*. А с противоположной стороны, у основания молекулы тРНК, есть участок, к которому присоединяется аминокислота (*ил. 65*).




Ил. 65. Строение молекулы тРНК: 1 – 4 – участки соединения комплементарных рибонуклеотидов; 5 – участок присоединения аминокислоты; 6 – антикодон

***Рибосомные РНК (рРНК)*** входят в состав рибосом про- и эукариотических клеток. Молекулы рРНК составляют до 80 % всей РНК клетки, содержат 3 – 5 тысяч нуклеотидов и вместе с белками обеспечивают определённое расположение иРНК и тРНК при синтезе белковой молекулы.

> Итак, различные типы РНК отличаются строением, количеством нуклеотидов, составом, выполняют различные функции.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Примените знания и с помощью таблицы охарактеризуйте процесс транскрипции.

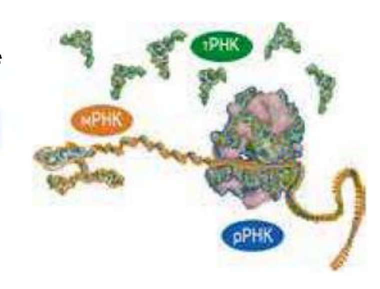
**ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАНСКРИПЦИИ В КЛЕТКАХ ЭУКАРИОТОВ**

| Признак | Характеристика |
|---|---|
| 1. Где происходит? | |
| 2. Исходные вещества | |
| 3. Энергия, что используется | |
| 4. Фермент, который катализирует | |
| 5. Основные стадии | |
| 6. Вещества, которые осуществляют регуляцию | |
| 7. Результат | |
| 8. Каковы послетранскрипционные изменения? | |
| 9. Как осуществляется экспорт РНК в цитоплазму? | |

### Самостоятельная работа с таблицей

Рассмотрите иллюстрацию типов РНК. С помощью таблицы и учебника сопоставьте типы РНК и сформулируйте вывод.

| Признак | иРНК | тРНК | рРНК |
|---|---|---|---|
| Функция | | | |
| Содержание в клетке | | | |
| Размеры | | | |






## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Наука





В 2006 г. ***Е. Файр*** и ***К. Мелло*** получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине «за открытие РНК-интерференции – подавления экспрессии генов двухцепочечной РНК». Эти учёные показали, что введение коротких РНК в клетки нематоды *Caenorhabditis elegans* угнетало реализацию наследственной информации гена. Оцените значение знаний транскрипции и РНК-интерференции для медицины и биотехнологии.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое экспрессия генов? 2. Что является результатом экспрессии генов? 3. Что такое транскрипция? 4. Каково значение транскрипции? 5. Назовите основные типы РНК. 6. Каковы функции иРНК, тРНК и рРНК в клетке? |
| 7 – 9 | 7. Какие особенности отличают биологическую экспрессию генов? 8. Как происходит транскрипция? 9. Чем и почему отличаются разные типы РНК между собой? |
| 10 – 12 | 10. Какое значение имеют процессы регуляции транскрипции для клетки? |

*Азбука жизни содержит всего 4 буквы – А, Т, Г, Ц,*
*но какое разнообразие слов и содержания предложений!*
*Детская энциклопедия*

# § 26. ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД. БИОСИНТЕЗ БЕЛКА

**Основные понятия и ключевые термины: ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД. Биосинтез белка. Трансляция.**

**Вспомните!** Что такое ДНК, РНК и белки? Что такое транскрипция?

### Подумайте!

Код (от лат. *codex* – отчёт законов) – *система условных знаков для передачи, обработки и хранения информации*. Например, в международном телеграфном коде каждой букве или цифре соответствует определённая комбинация длительности импульсов тока, а на письме – точек и тире. На сегодня в обществе используются штрих-код, двоичный код, *QR*-код, *PLU*-код и др. А что и как шифруется с помощью генетического кода?





### СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы особенности генетического кода?

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД – *система записи наследственной информации об аминокислотном составе белков в молекулах нуклеиновых кислот в виде последовательностей нуклеотидов*. Эта последовательность определяет порядок расположения аминокислотных остатков в полипептидной цепи во время его синтеза.

| Свойства генетического кода |
|---|
| 1. Триплентнисть |
| 2. Однозначность |
| 3. Избыточность |
| 4. Непрерывность |
| 5. Коллинеарность |
| 6. Универсальность |

Основными свойствами генетического кода являются:

- **триплетность** – каждая аминокислота кодируется последовательностью из 3 нуклеотидов – триплетом;
- **однозначность**, или **специфичность**, – каждый триплет кодирует только одну определённую аминокислоту;
- **избыточность** или **вырожденость**, – одну аминокислоту могут кодировать несколько разных триплетов (например, лейцин кодируется 6 триплетами), что повышает надёжность генетического кода;
- **непрерывность** – границы между триплетами не обозначены, триплеты следуют один за другим. Однако следует помнить, что между генами есть участки, которые не несут генетической информации (спейсеры), а только отделяют одни гены от других. Кроме того, в начале гена располагается старт-кодон (в ДНК – триплет ТАЦ, в РНК – АУГ), в конце генов – один из трёх стоп-кодонов (в ДНК – АТТ, АТЦ, АЦТ, в РНК – УАА, УАГ, УГА). **Старт-кодон** – *это триплет, кодирующий аминокислоту метионин (Мет*) и начинающий образование белка в процессе трансляции*. **Стоп-кодоны**

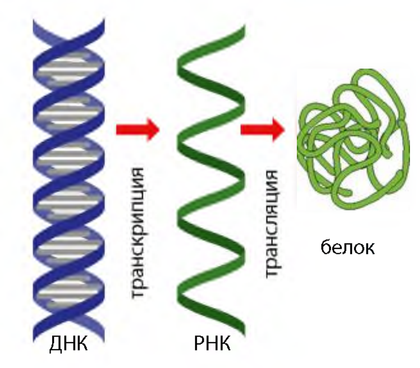
(нонсенс-кодоны) – *это кодоны, сигнализирующие о завершении трансляции полипептидной цепи*;

- **коллинеарность** – линейной последовательности нуклеотидов соответствует линейная последовательность аминокислот;
- **универсальность** – генетический код един для всех организмов, существующих на Земле.

Итак, генетический код является системой нуклеотидов для сохранения информации об аминокислотах белков или рибонуклеотидах РНК.

## Как происходит биосинтез белков в живой клетке?

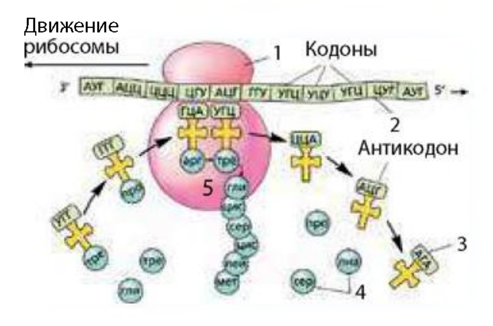
**БИОСИНТЕЗ БЕЛКОВ** – *совокупность процессов образования молекул белков из аминокислот на основе информации генов ДНК*. Биосинтез белков – очень сложный процесс, требующий значительных затрат энергии и происходящий при участии многих ферментов. Основными этапами биосинтеза белков являются транскрипция и трансляция (*ил. 66*).




Ил. 66. Общая схема биосинтеза белка

**Транскрипция** – *переписывание информации о первичной структуре белка с молекулы ДНК на молекулу предшественника иРНК* (*про-иРНК*), *происходящее в цитоплазме* (*у прокариотов*) *или в ядре* (*у эукариотов*). При образовании про-иРНК одновременно происходит её созревание (***процессинг иРНК***). Оно заключается в обретении РНК стабильности, защите от ферментов, возможности перемещения из ядра и участия в трансляции. Зрелая иРНК через ядерные поры попадает в цитоплазму (***экспорт иРНК***).

**Трансляция** (лат. *translatio* – перенос) – *совокупность процессов преобразования наследственной информации иРНК в белок первичной структуры* (*ил. 67*). Трансляция происходит на рибосомах. С одной молекулой иРНК могут одновременно связываться несколько рибосом с образованием полирибосомы (полисомы).




Ил. 67. Схема трансляции молекулы белка: 1 – рибосома; 2 – иРНК; 3 – тРНК; 4 – аминокислоты

Необходимые для биосинтеза белков аминокислоты доставляют к рибосомам молекулы тРНК. Процесс объединения тРНК с активированными аминокислотами называется ***активацией аминокислот***. Многие аминокислот кодируются несколькими триплетами, поэтому количество видов тРНК равно 61.

Трансляция начинается со взаимодействия субъединиц рибосом с иРНК и первой тРНК, антикодон которой соответствует старт-кодону иРНК – АУГ. Этот кодон определяет для рибосомы начало считывания

информации с иРНК. Когда первая тРНК связывается с иРНК, рибосома делает шаг, и в её функциональном центре оказываются два триплета. На одном из них происходит распознавание следующей тРНК, а на другом – освобождение аминокислоты от предыдущей тРНК и её присоединение к цепи будущей молекулы белка. Далее рибосома передвигается по иРНК ровно на один триплет, обеспечивая наращивание полипептидной цепи. Это перемещение происходит до тех пор, пока рибосома не натолкнётся на один из стоп-кодонов в иРНК, что сигнализирует о завершении трансляции.

После отделения от рибосом начинается созревание белков. К ним присоединяются различные химические группы, отщепляются небольшие фрагменты, они преобразуются во вторичную, третичную структуры и др. Эти перестройки происходят в цитоплазме, гранулярной ЭПС, комплексе Гольджи, изменяя функциональную активность белков.

Итак, основными этапами биосинтеза белков являются транскрипция и трансляция.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Практическая работа № 2. РЕШЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ УПРАЖНЕНИЙ ПО ТРАНСКРИПЦИИ И ТРАНСЛЯЦИИ

**Цель:** формируем умение решать элементарные упражнения по молекулярной биологии.

**Что нужно помнить для решения упражнений**

- Длина нуклеотида – 0,34 нм
- Молекулярная масса нуклеотида – 345 а. е. м.
- Относительная молекулярная масса аминокислоты – 100 а. е. м.

**Упражнение 1.** С помощью таблицы генетического кода РНК определите: а) аминокислоту, которая кодируется триплетом ААА; б) триплеты, кодирующие аминокислоту лейцин (ЛЕЙ).

**Упражнение 2.** Одна из цепей фрагмента ДНК имеет такую последовательность нуклеотидов: АГТ АЦЦ ГАО ЦЦТ ЦГА ТТТ АЦГ. Определите последовательность нуклеотидов иРНК.

**Упражнение 3.** Определите аминокислотный состав белка, который кодируется иРНК следующего состава: ЦЦГ ЦАЦ ЦУА ЦГУ.

**Упражнение 4.** Фрагмент цепи иРНК состоит из последовательно расположенных кодонов: АУГ УУГ УУЦ УГГ УАА. Какие антикодоны будут у тРНК и с какими аминокислотами они связаны?

**Таблица генетического кода РНК**

*(в скобках – код ДНК)*

| Первое основание | Второе основание | | | | Третье основание |
|---|---|---|---|---|---|
| | У(А) | Ц(Г) | А(Т) | Г(Ц) | |
| У(А) | Фен<br>Фен<br>Лей<br>Лей | Сер<br>Сер<br>Сер<br>Сер | Тир<br>Тир<br>Стоп<br>Стоп | Цис<br>Цис<br>Стоп<br>Три | У(А)<br>Ц(Г)<br>А(Т)<br>Г(Ц) |
| Ц(Г) | Лей<br>Лей<br>Лей<br>Лей | Про<br>Про<br>Про<br>Про | Гис<br>Гис<br>Глн<br>Глн | Арг<br>Арг<br>Арг<br>Арг | У(А)<br>Ц(Г)<br>А(Т)<br>Г(Ц) |
| А(Т) | Иле<br>Иле<br>Иле<br>Мет* | Тре<br>Тре<br>Тре<br>Тре | Асн<br>Асн<br>Лиз<br>Лиз | Сер<br>Сер<br>Арг<br>Арг | У(А)<br>Ц(Г)<br>А(Т)<br>Г(Ц) |
| Г(Ц) | Вал<br>Вал<br>Вал<br>Вал | Ала<br>Ала<br>Ала<br>Ала | Асп<br>Асп<br>Глу<br>Глу | Гли<br>Гли<br>Гли<br>Гли | У(А)<br>Ц(Г)<br>А(Т)<br>Г(Ц) |

### Упражнения для самостоятельного решения

**Упражнение 5*.** Относительная молекулярная масса белка – 50 000. Определите длину и массу гена, кодирующего этот белок.

**Упражнение 6*.** Молекулярная масса одной из цепей ДНК – 119 025 а. е. м. Определите количество мономеров белка и его относительную молекулярную массу.

**Упражнение 7*.** Молекула про-иРНК состоит из 900 нуклеотидов, причём на интронные участки приходится 300 нуклеотидов. Сколько аминокислотных остатков содержит белок?

**Упражнение 8*.** Определите молекулярную массу и длину гена, если в нём закодирован белок с молекулярной массой 28 000 а. е. м.

**Биология + Английский язык**

Переведите текст и определите суть понятия «биоинформатика».

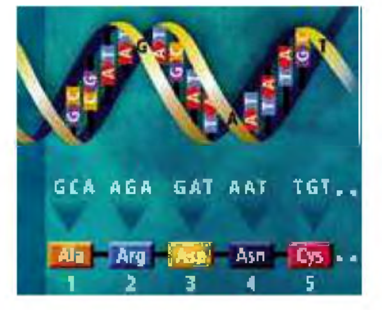
«*Bioinformatics* *is a field that develops methods and software tools for understanding biological data. As an interdisciplinary field of science, bioinformatics combines computer science, statistics, mathematics, and engineering to analyze and interpret biological data. Common uses of bioinformatics include the identification of candidate genes and nucleotides. Often, such identification is made with the aim of better understanding the genetic basis of disease, unique adaptations, desirable properties, or differences between populations. In a less formal way, bioinformatics also tries to understand the organisational principles within nucleic acid and protein sequences. It also plays a role in the analysis of gene and protein expression and regulation. Bioinformatics tools aid in the comparison of genetic and genomic data and more generally in the understanding of evolutionary aspects of molecular biology*».



## ОТНОШЕНИЕ

**Биология + Наука**

Генетический код был расшифрован в 60-х годах XX в., за что ***Г. Корана***, ***Р. Холли*** и ***М. Ниренберг*** получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1968 г. Оцените значение этого открытия для различных отраслей деятельности человека.






## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое генетический код? 2. Назовите основные свойства генетического кода. 3. Что такое транскрипция иРНК? 4. Где происходит транскрипция? 5. Что такое трансляция? 6. Где происходит трансляция? |
| 7 – 9 | 7. Каковы особенности генетического кода? 8. Как происходит транскрипция в живой клетке? 9. Как происходит трансляция в клетке? |
| 10 – 12 | 10. Каково значение генетического кода в биосинтезе белков? |

*ДНК – это самое удивительное и загадочное из всех органических соединений.*
Детская энциклопедия

# § 27. УДВОЕНИЕ ДНК. РЕПАРАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК

**Основные понятия и ключевые термины:** РЕПЛИКАЦИЯ ДНК. РЕПАРАЦИЯ ДНК.

### Подумайте!

25 апреля в разных странах мира отмечают необычный праздник – Международный день ДНК. Эта дата выбрана в память о том, что в этот день в 1953 г. в журнале *Nature* ***Джеймс Уотсон*** и ***Фрэнсис Крик*** совместно с ***Морисом Уилкинсом*** и ***Розалинд Франклин*** опубликовали результаты исследования структуры молекулы ДНК. Какие свойства ДНК является основой такого почёта?



### СОДЕРЖАНИЕ

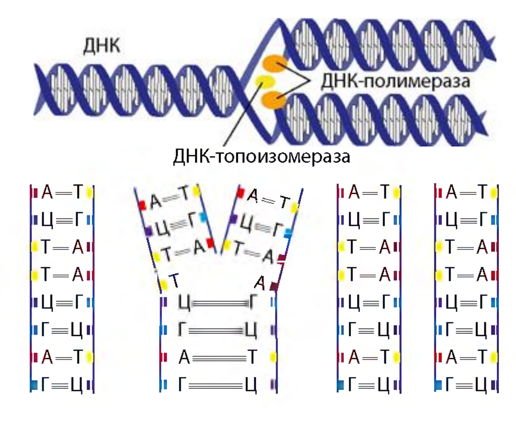
### Как происходит самоудвоение ДНК?

Одним из уникальных и неповторимых свойств молекул ДНК является их способность к самоудвоению (репликации). Из одной материнской ДНК образуются две дочерние молекулы ДНК. Этот процесс происходит в ядре (или нуклеоиде) клеток перед их делением и обеспечивает передачу генетической информации из поколения в поколение.

Механизм репликации у организмов разных классов несколько отличается, однако его основа одинакова для всех. Главными принципами репликации являются:

- **комплементарность** – к нуклеотидам каждой материнской цепи присоединяются свободные нуклеотиды на основании А = Т, а Г = Ц;
- **полуконсервативность** – каждая из двух дочерних молекул ДНК получает одну цепь от материнской молекулы, а вторую – синтезирует из нуклеотидов;
- **антипараллельность** – на одной цепи синтез осуществляется в одном направлении, а на другой – в противоположном.

Репликация – сложный многоэтапный процесс, в котором участвуют многие ферменты (*ил. 68*). Он начинается с того, что определённые ферменты раскручивают спиральную молекулу ДНК, после чего к ней присоединяются белки, которые не дают молекуле снова свернуться.




Ил. 68. Схема репликации молекулы ДНК

Другие ферменты расщепляют ДНК на две отдельные цепи с образованием репликационный вилки. Далее к каждой из материнских цепей присоединяются ДНК-полимеразы, катализирующие образование новых дочерних цепей. Эти ферменты способны также исправлять возможные ошибки репликации и проверять комплементарность. Синтез новых цепей происходит асимметрично, то есть одна из них синтезируется непрерывно, другая цепь образуется в противоположном направлении в виде коротких фрагментов. После завершения репликации из одной молекулы ДНК образуются две идентичные, которые скручиваются в двойную спираль.

Итак, **РЕПЛИКАЦИЯ ДНК** (от лат. *replicatio* – повторение) – процесс самоудвоения ДНК, обеспечивающий копирование наследственной информации и передачу её из поколения в поколение.

## Какое значение репарации ДНК?

**РЕПАРАЦИЯ ДНК** – *совокупность процессов, с помощью которых клетка находит и исправляет повреждения молекул ДНК*. Процесс репарации ДНК возможен потому, что генетическая информация ДНК существует в двух копиях – по одной в каждой из двух цепей ДНК. Поэтому случайное повреждение в одной из цепей может быть удалено, и повреждённый участок цепи будет восстановлен за счёт информации другой цепи.

Повреждения ДНК в клетках могут возникать под действием различных факторов. Некоторые из них являются внешними: ультрафиолетовые и радиоактивные лучи, температура, химические соединения и др. Но более существенно действие внутренних факторов. Это, во-первых, метаболизм клетки, в ходе которого появляются свободные радикалы, пероксид водорода, свободный кислород и т. п. Во-вторых, вода постоянно гидролизует ДНК. И наконец, ошибки ферментов ДНК-полимеразы.

Существует несколько видов репарации. Простейшая – это *световая репарация*, осуществляемая ферментом (ДНК-фотолиазою) и восстанавливающая повреждённые связи между нуклеотидами.

Основным видом репарации является *разрезание ДНК* – удаление повреждённых одноцепочечных участков ДНК из 10 – 30 нуклеотидов и восстановление нормальной структуры молекулы. В случае сильного повреждения ДНК (образования двухцепочечных разрывов, больших одноцепочечных провалов, межцепочного сшивания) происходит *рекомбинационная репарация*: фрагмент ДНК удаляется, и в этом месте синтезируется новый фрагмент.










Ил. 69. Лауреаты Нобелевской премии по химии (2015) за открытие репарации: 1 – Т. Линдаль; 2 – П. Модрич; 3 – А. Санджар

Механизмы репарации контролируются генами. Так, у кишечной палочки за исправление повреждений отвечают около 50 генов. Чем сложнее клетка, тем больше структурных и регуляторных генов участвует в репарации. Повреждения этих генов могут вызывать мутации, провоцировать гибель клеток или способствовать их злокачественному перерождению. Учёные считают, что нарушение репарации на уровне организма приводит к дефектам развития, старению и канцерогенезу (80 – 90 % всех раковых заболеваний связаны с нарушением репарации). Эффективность репарации ДНК зависит от многих факторов, в том числе от типа клетки, её возраста и окружения.

Итак, репарация ДНК направлена на поддержание генетической стабильности клеток.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

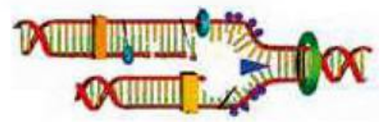
### Задание на применение знаний

С помощью таблицы и иллюстраций сравните транскрипцию и репликацию в клетках эукариотов. Сделайте вывод о сходстве и различиях между ними.

| Признак | Транскрипция | Репликация |
|---|---|---|
| Место прохождения | | |
| Что является матрицей для процессов? | | |
| Какие молекулы образуются в результате? | | |
| Из каких молекул мономеров образуются? | | |
| Какие ферменты катализируют? | | |
| Значение для клеток | | |

### Решение упражнений

1. Выберите последовательность азотосодержащих оснований, которая образуется в процессе *репликации* молекулы ДНК на основе цепи – АЦТ ТТГ ГАТ ГАТ ТТТ АЦТ ГТГ:



а) ТГА ААЦ ЦТА ААА ТГА ЦАЦ;
б) ТАА ТАА ТАА ТАА ААА ААА ТАГ;
в) ТАЦ АЦГ ЦТЦ АТГ ГТА ЦЦТ ТГЦ;
г) ТТТ ТТТ ТАТ АЦА ЦАЦ ЦГЦ ТАА;
д) ТГА ТЦГ ГГГ ЦЦГ ЦТА ААА.

2. Выберите последовательность азотосодержащих оснований иРНК, которая образуется в результате процесса *транскрипции* с молекулы ДНК такого строения – АТГ ТГЦ ГАГ ТАЦ ЦАТ ГГА АЦГ:




а) УАЦ АЦГ ЦУЦ АУГ ГУА ЦЦУ УГЦ;
б) УУУ УУУ УАУ АЦА ЦАЦ ЦГЦ УАА;
в) УГА УЦГ ГГГ ЦЦГ ЦУА ААА УГА;
г) УГА ААЦ ЦУА ЦУА ААА УГА ЦАЦ;
д) УАА УАА УАА УАА УАА ААА ААА УАГ.

3. С помощью таблицы генетического кода (*с. 112*) определите аминокислотный состав пептида, который образуется в результате *трансляции* на основе фрагмента иРНК такого нуклеотидного состава – УУУ ЦЦА ГГУ АГЦ:




а) Фен-Про-Гли-Сер;
б) Сер-Ала-Цис-Вал;
в) Фен-Трп-Тре;
г) Тир-Про;
д) Вал-Вал-Глу-Гли.

**Биология + Информация**

Информационный сигнал SOS (англ. *Save our Souls*) извещает о беде в системе радиосвязи, в медицине разрабатывается SOS-система здравоохранения. В клетках организмов существует SOS-система, которую открыл в 1975 г. М. Радман. Эта система включается, если количество повреждений ДНК угрожает жизни клетки. SOS-система активирует группы генов, обусловливающих защитный клеточный ответ на эти повреждения. Какие клеточные процессы формируют защитный клеточный ответ?



## ОТНОШЕНИЕ

**Биология + Здоровье**

При метаболизме в клетках постоянно образуются и обезвреживаются свободные радикалы и пероксид водорода. Накопление этих соединений приводит к окислительному стрессу и окислению липидов, белков, ДНК, что является причиной многих заболеваний и старения. Вредному воздействию свободных радикалов и пероксида водорода противодействуют антиоксиданты. Какие соединения относятся к антиоксидантам и в каких пищевых продуктах их содержание наибольшее? Оцените свой пищевой рацион относительно содержания этих соединений.





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое репликация? 2. Назовите основные принципы репликации. 3. Приведите примеры ферментов репликации. 4. Что такое репарация ДНК? 5. Назовите факторы, вызывающие повреждения ДНК. 6. Какие есть виды репарации? |
| 7 – 9 | 7. Как происходит процесс самоудвоения ДНК? 8. Какое значение имеет репарация ДНК? 9. Каковы последствия нарушения репарации в организме? |
| 10 – 12 | 10. В чём сходство и отличие между транскрипцией и репликацией? |

*Omnis cellula e cellula.*
*Р. Вирхов*

# § 28. ДЕЛЕНИЕ КЛЕТОК. КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ. МИТОЗ

**Основные понятия и ключевые термины:** **ДЕЛЕНИЕ КЛЕТОК. КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ. Интерфаза. МИТОЗ.**

**Вспомните!** Что такое клеточная теория?

**Подумайте!**



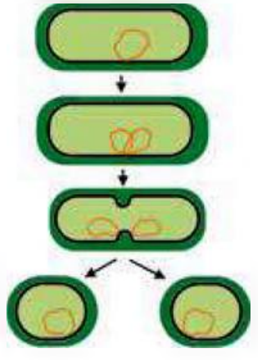
*«Каждую секунду в нашем теле сотни миллионов маленьких балерин сходятся и расходятся, располагаются в ряд и разбегаются в разные стороны, словно танцоры на балу, которые выполняют сложные па старинного танца. Этот танец – древнейший на Земле. Это танец жизни»,* – так описывал это явление американский генетик ***Г. Д. Меллер*** (1890–1967). О каком танце речь?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Какое значение имеет деление клеток?

Наследственная информация от одного поколения клеток передаётся следующему поколению клеток с помощью хромосом. Эти структуры перед делением клеток удваиваются и распределяются между новыми клетками. Такое упорядоченное распределение и есть «танец жизни».

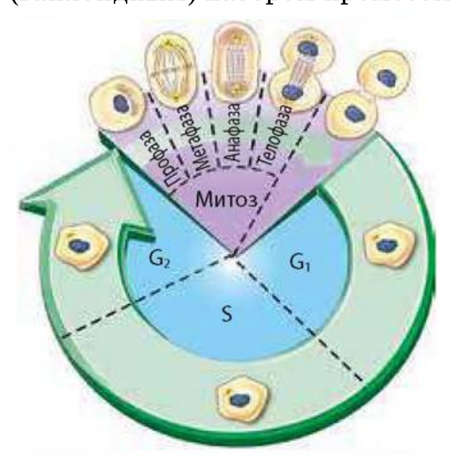


Ил. 70. Бинарное деление прокариотической клетки

**ДЕЛЕНИЕ КЛЕТОК** – *совокупность процессов, в результате которых наследственная информация клетки передаётся следующему поколению клеток.* Деление прокариотических клеток проще, поскольку нуклеоид содержит только одну кольцевую молекулу ДНК. Эта «бактериальная хромосома» перед делением самоудваивается. В ходе этого процесса уплотнения «хромосомы» не происходит. Затем обе молекулы ДНК прикрепляются к плазматической мембране и распределяются. Далее происходят процесс деления цитоплазмы и образование из одной материнской двух дочерних клеток (*ил. 70*). Такое самовоспроизведение клеток называется ***бинарным делением***; оно происходит очень быстро. Например, при благоприятных условиях кишечная палочка делится каждые 20–30 мин. Деление пополам, или бинарное деление, обеспечивает бесполое размножение прокариотов.

Деление эукариотических клеток осложнено тем, что ядро содержит чётный (диплоидный) набор хромосом. Основными типами деления эукариотических клеток является деление путём митоза и мейоза. ***Митоз*** (от греч. *mitos* – нить) – деление, при котором из одной материнской клетки образуются две дочерние клетки с таким

же набором хромосом. Этот тип деления – основа роста, регенерации, бесполого размножения эукариотов (растений, грибов и животных). ***Мейоз*** – деление, при котором из одной материнской клетки образуются дочерние клетки с половинным (гаплоидным) набором хромосом и видоизменённой наследственной информацией. Благодаря такому делению возникают гаметы, которые обеспечивают половое размножение многих эукариотов.



Ил. 71. Схема клеточного цикла

Итак, значение деления клеток заключается в удвоении и передаче наследственной информации следующему поколению клеток и обеспечении преемственности жизни.

**От чего зависит продолжительность клеточного цикла?**

КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ – *это период существования эукариотической клетки от одного деления к другому*. Продолжительность этого периода различна у разных клеток (например, для лейкоцитов человека – 4–5 суток, для клеток кишечного эпителия – 8–10 ч). Есть клетки, которые не способны к делению, и их клеточный цикл совпадает с продолжительностью их жизни (например, нейроны, эритроциты человека, живущие 100–120 дней). Продолжительность клеточного цикла зависит от внутренних (например, интенсивность метаболизма, тип клеток и т. д.) и внешних (например, температура, питательные вещества, наличие кислорода) факторов.

Процессы, происходящие в течение клеточного цикла, последовательны, и их осуществление в обратном направлении невозможно. Важной чертой всех эукариотов является то, что течение различных фаз клеточного цикла подлежит регуляции. Существует два основных класса регуляторных молекул, которые направляют клеточный цикл. Это циклины и циклинзависимые ферменты киназы. За открытие этих центральных молекул регуляции клеточного цикла ***Л. Хартвелл***, ***Т. Хант*** и ***П. Нерс*** получили Нобелевскую премию в области физиологии и медицины (2001).







Ил. 72. Лауреаты Нобелевской премии по физиологии и медицине
1 – Л. Хартвелл;
2 – Т. Хант; 3 – П. Нерс

Для большинства клеток многоклеточных организмов количество клеточных циклов ограничено. Они запрограммированы на определённое количество делений, после которых погибают. Наиболее вероятной гипотезой, объясняющей этот факт,

считается теломерная гипотеза, согласно которой срок жизни клетки зависит от длины концевых участков хромосом – теломер.

Итак, продолжительность клеточного цикла различна у разных клеток и зависит от типа клеток, а также внутренних и внешних факторов, влияющих на клетку в течение её жизни.

## Как происходит митотическое деление клеток?

Клеточный цикл состоит из интерфазы и митоза.

**Интерфаза** (лат. *inter* – между, *phasis* – появление) – *период между двумя делениями клетки*. Продолжительность интерфазы обычно составляет до 90 % времени всего клеточного цикла. Именно тогда происходят рост клеток, удвоение молекул ДНК (репликация), синтез органических соединений, размножение митохондрий, накопление энергии АТФ. Основным признаком интерфазных клеток является неуплотнённое (деконденсированное) состояние хроматина. Интерфаза состоит из трёх этапов: предсинтетичного ($G_1$-фаза), синтетического (S-фаза) и постсинтетического ($G_2$-фаза). После интерфазы наступает митоз.



Ил. 73. Митоз эукариотической клетки

Митотическое деление растительных клеток было открыто в 1874 г. И. Д. Чистяковым, а процесс в животных клетках описали в 1878 г. В. Флемминг и П. И. Перемежко (*ил. 73*). Митоз условно делят на 4 фазы: профазу, метафазу, анафазу и телофазу (*табл. 6*).

**Таблица 6. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ МИТОЗА**

| Название фазы | Основные процессы |
|---|---|
| **Профаза** – конденсация хромосом | 1. Конденсация (уплотнение) двухроматидных хромосом. 2. Расхождение центриолей к полюсам. 3. Исчезновение ядрышка. 4. Распад ядерной оболочки. 5. Формирование веретена деления |
| **Метафаза** – расположение хромосом на экваторе клетки | Прикрепление коротких нитей веретена деления к центромере и расположение двухроматидных хромосом на экваторе клетки в один ряд |
| **Анафаза** – расхождение хромосом | Сокращение нитей веретена деления, деление центромер и расхождение однохроматидных хромосом к полюсам |
| **Телофаза** – деконденсация хромосом («профаза наоборот») | 1. Деконденсация однохроматидных хромосом. 2. Расположение центриолей у ядра. 3. Формирование ядрышек. 4. Образование ядерной оболочки. 5. Разрушение веретена деления |

Биологическое значение митоза: 1) обеспечивает точное распределение наследственного материала между двумя дочерними клетками; 2) обеспечивает постоянство кариотипа при бесполом размножении; 3) лежит в основе бесполого размножения, регенерации, роста организмов.

Итак, **МИТОЗ** – это деление эукариотических клеток, в результате которого образуются две дочерние клетки с таким же набором хромосом, как и у материнской клетки.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

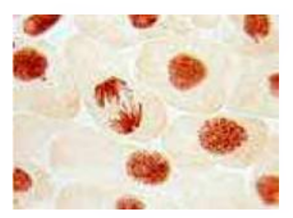
**Лабораторное исследование. ФАЗЫ МИТОЗА**

**Цель:** формируем умение распознавать фазы митоза по особенностям процессов.

**Оборудование и материалы:** микроскопы, микропрепараты клеток корня лука; иллюстрации клеток корня в разных фазах митоза.

**Ход работы**

1. Найдите клетки на стадии интерфазы. Зарисуйте клетку, сделайте подписи к рисунку.
2. Найдите клетки на стадии профазы. Зарисуйте клетку, сделайте подписи к рисунку.
3. Найдите клетки на стадии метафазы. Зарисуйте клетку, сделайте подписи к рисунку.
4. Найдите клетки на стадии анафазы. Зарисуйте клетку, сделайте подписи к рисунку.
5. Найдите клетки на стадии телофазы. Зарисуйте клетку, сделайте подписи к рисунку.
6. Итог работы.



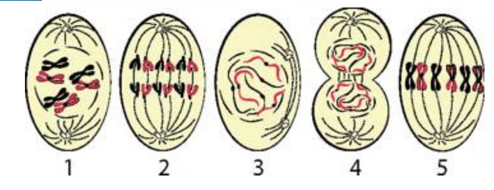


## ОТНОШЕНИЕ

**Задания на применение знаний**

**Задание 1.** Распознайте и назовите изображённые на иллюстрации фазы клеточного цикла.

**Задание 2.** Заполните в рабочей тетради таблицу «Характеристика митоза».




**Задание 3.** Сгруппируйте определённые признаки и дайте собственную формулировку митоза.

**ХАРАКТЕРИСТИКА МИТОЗА**

| Признак | Характеристика |
|---|---|
| 1. Каким клеткам присущ | |
| 2. Количество делений | |
| 3. Количество клеток, образованных из материнской | |
| 4. Набор хромосом в клетках перед делением | |
| 5. Набор хромосом в клетках после деления | |
| 6. Состояние наследственной информации в клетках после деления | |



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое деление клеток? 2. Назовите основные типы деления про- и эукариотических клеток. 3. Что такое клеточный цикл? 4. Назовите основные периоды клеточного цикла. 5. Что такое митоз? 6. Назовите основные фазы митоза. |
| 7 – 9 | 7. Какое значение имеет деление клеток? 8. От чего зависит продолжительность клеточного цикла? 9. Как происходит митотическое деление клеток? |
| 10 – 12 | 10. Почему клеточный цикл делят на этапы? |

*Разнообразие живого мира – результат того,*
*что кроме митоза в природе сформировался мейоз.*
*Основы системной биологии*

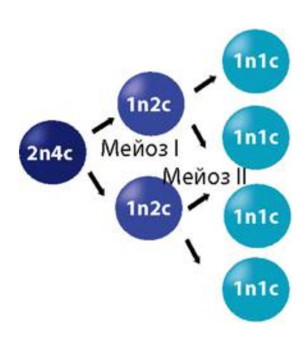
# § 29. МЕЙОЗ. РЕКОМБИНАЦИЯ ДНК

**Основные понятия и ключевые термины: МЕЙОЗ. РЕКОМБИНАЦИЯ ДНК.**

**Вспомните!** Что такое деление клеток?

## Новости науки

*«Научный интерес к мейозу значительно вырос, когда оказалось, что одни и те же ферменты могут участвовать в репликации ДНК, обмене её отдельных участков и репарации. Ныне некоторые биологи развивают оригинальную гипотезу о том, что в процессе мейоза происходит проверка цепей ДНК и восстановление повреждений. При этом наблюдается полное омоложение клеток, участвующих в половом размножении».* Что же такое мейоз?



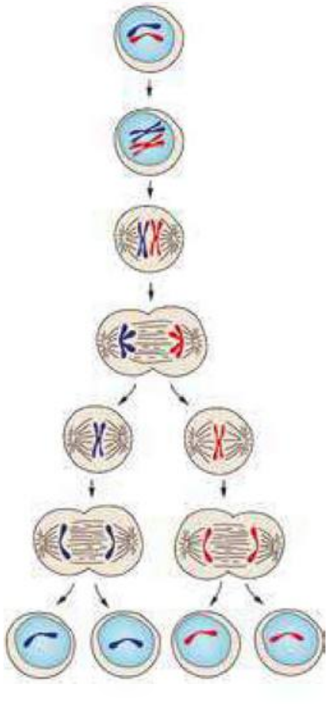



## СОДЕРЖАНИЕ

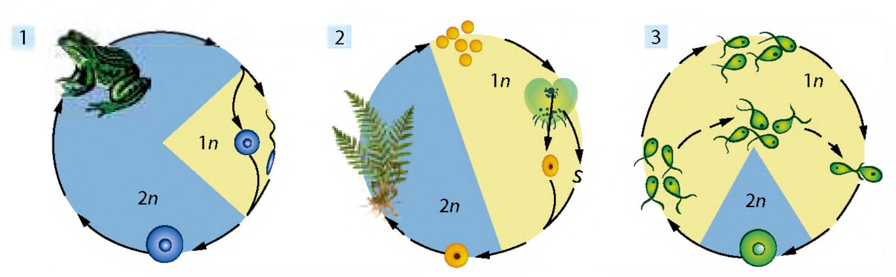
### Каково биологическое значение мейоза?

Мейоз был впервые описан у морских ежей немецким биологом ***А. Гертвигом*** (1849–1922) в 1876 г. ***А. Вайсману*** (1834–1914) принадлежит объяснение биологического значения мейоза. Один из основателей цитогенетики ***С. Дарлингтон*** (1903–1981) разработал теорию, объясняющую механизм сочетания хромосом в мейозе (1932). Изучением мейоза занимается ***цитогенетика***.

**МЕЙОЗ** (от греч. *мейозиз* – уменьшение) – *это деление эукариотических клеток, в результате которого образуются дочерние клетки с вдвое меньшим набором хромосом* (*ил. 74*). Значение мейоза заключается в поддержке в поколениях стабильности хромосомных наборов и в создании новых сочетаний родительских и материнских генов, что способствует изменчивости. Согласно современным исследованиям во время мейоза происходит и репарация ДНК с участием гомологичной рекомбинации. Мейоз является основой размножения. У животных вследствие мейоза образуются половые клетки – гаметы (гаметный мейоз), у высших растений – споры для бесполого размножения (споровый мейоз), а у грибов и низших растений – клетки мицелия



Ил. 74. Схема мейоза




Ил. 75. Типы мейоза: 1 – гаметний; 2 – споровый; 3 – зиготный

или талома, формируемых из зиготы (зиготный мейоз) (*ил. 75*). Из гаплоидной споры прорастает половое поколение высших растений (гаметофитов), которое образует гаметы. У животных образовавшиеся половые клетки сливаются с образованием зиготы, в которой после оплодотворения восстанавливается диплоидный набор хромосом. Если бы в процессе мейоза число хромосом не уменьшалось, то в каждом следующем поколении при слиянии яйцеклетки и сперматозоона количество хромосом увеличивалось бы вдвое. А у грибов и водорослей из диплоидной зиготы образуются гаплоидные клетки грибницы и талома, которые впоследствии образуют гаметы или споры.

Итак, биологическое значение мейоза заключается в: 1) обеспечении изменения наследственного материала; 2) поддержании постоянства кариотипа при половом размножении; 3) образовании гамет для полового размножения животных; 4) формировании спор для бесполого размножения высших растений; 5) восстановлении повреждений ДНК.

## Каковы отличия мейоза от митоза?

Мейоз в процессе эволюции возник на основе митоза, но имеет ряд принципиальных отличий:

- происходит в два последовательных этапа – мейоз I и мейоз II, каждый из которых состоит из 4 фаз;
- на первом этапе происходит распределение гомологичных двухроматидных хромосом на две клетки с образованием в них гаплоидных наборов хромосом, поэтому этот раздел называют *редукционным* (от лат. *reductio* – возвращение);
- состояние наследственной информации после первого деления уже изменено благодаря ***рекомбинации ДНК***;
- на втором этапе расходятся хроматиды гомологичных хромосом, и он осуществляется по митотическому типу;
- общим результатом мейоза является образование из одной материнской клетки четырёх дочерних клеток с гаплоидным набором однохроматидных хромосом (*табл. 7*).

**Таблица 7. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ МЕЙОЗА**

| Название фазы | Основные процессы |
|---|---|
| I этап – РЕДУКЦИОННОЕ ДЕЛЕНИЕ, или МЕЙОЗ I | |
| **Профаза I** | Фаза конденсации двухроматидных хромосом. Особенностью является *конъюгация* (слияние участков гомологичных хромосом) и *кроссинговер* (обмен участками между гомологичными хромосомами), обеспечивающие ***рекомбинацию ДНК*** |

| Название фазы | Основные процессы |
|---|---|
| **Метафаза I** | Расположение двухроматидных хромосом на экваторе клетки в два ряда в виде тетрад (комплексов и двух двухроматидных хромосом) |
| **Анафаза I** | Расхождение двухроматидных хромосом к полюсам клеток |
| **Телофаза I** | Деконденсация двухроматидных хромосом и формирование двух клеток или только ядер с гаплоидным набором хромосом |
| II этап – ЭКВАЦИОННЫЙ, или МЕЙОЗ II (интерфазы между делениями мейоза нет, поскольку репликации ДНК не происходит) | |
| **Профаза II** | Конденсация двухроматидных хромосом |
| **Метафаза II** | Расхождение двухроматидных хромосом на экваторе клетки |
| **Анафаза II** | Расхождение однохроматидных хромосом к полюсам клеток |
| **Телофаза II** | Деконденсация однохроматидных хромосом |

Итак, мейоз происходит в два этапа деления с образованием гаплоидных клеток с видоизменённой наследственной информацией.

### Как изменяется наследственная информация в мейозе?

Генетическая стабильность очень важна для жизнедеятельности организмов в постоянных условиях. Для существования видов в течение длительных исторических промежутков времени жизненно необходима генетическая изменчивость, обеспечивающая приспособленность к изменяющимся условиям окружающей среды. Для обеспечения изменчивости организмов самая загадочная из молекул живого – ДНК – обладает ещё одним удивительным свойством, а именно способностью к перестройкам.

**РЕКОМБИНАЦИЯ ДНК** (генетическая рекомбинация) – *это перераспределение генетической информации ДНК, приводящее к появлению новых комбинаций генов*. При рекомбинации цепочка ДНК разрывается, а затем её фрагменты объединяются в ином порядке. Этот процесс универсален и наблюдается в про- и эукариотических клетках. Среди процессов рекомбинации ДНК у живых организмов чаще всего выделяют гомологическую и негомологическую рекомбинации.

***Гомологическая рекомбинация*** – это процесс обмена нуклеотидных последовательностей между гомологичными хромосомами или цепями ДНК. Этот тип рекомбинации используется клетками для исправления повреждений ДНК, образования новых комбинаций генов во время мейоза и т. п. Самый известный пример гомологической рекомбинации ДНК – обмен участками между чётными хромосомами – кроссинговер (*ил. 76*). Этот процесс происходит в мейозе после конъюгации – сочетания гомологических хромосом на стадии профазы I.



Ил. 76. Рекомбинация ДНК во время кроссинговера

***Негомологическая рекомбинация*** – это процесс обмена нуклеотидными последовательностями между негомологическими хромосомами или цепями ДНК. Пример такой рекомбинации – случайное встраивание вирусных или бактериальных фрагментов ДНК в ДНК клетки-хозяина.

**Итак, механизмы генетической рекомбинации в мейозе обеспечивают возможность перемещения из хромосомы в хромосому фрагментов ДНК, что повышает комбинативную изменчивость организмов.**

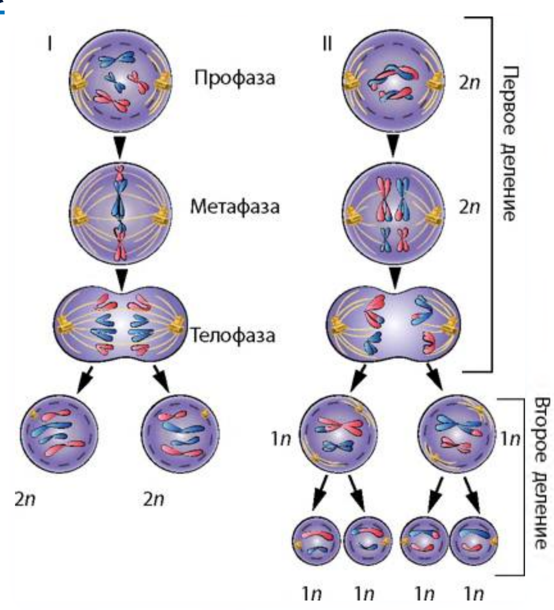
## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сравнение

Сравните в рабочей тетради митоз и мейоз по плану и сделайте вывод о причинах различий.

*План сравнения*

1. Количество делений.
2. Количество образованных клеток из одной.
3. Набор хромосом перед делением в клетках.
4. Набор хромосом в дочерних клетках.
5. Состояние наследственной информации в клетках.
6. Биологическое значение.






## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Декоративные растения

Папоротник *нефролепис возвышенный* (*Nephrolepis exaltata*) считается красивым, выносливым и полезным декориативным растением, которое очищает воздух в помещении от формальдегидов, толуола и ксилола. Это является одной из причин размещения этого папоротника в офисах, школах, детских садах. На этом конкретном примере оцените значение мейоза в жизни высших растений.





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое мейоз? 2. Какие клетки образуются после мейоза? 3. Каков результат первого деления мейоза? 4. Каков результат второго деления мейоза? 5. Что такое рекомбинация ДНК? 6. Оцените значение рекомбинации ДНК. |
| 7 – 9 | 7. Каково значение мейоза? 8. Назовите отличия мейоза от митоза. 9. Как изменяется наследственная информация в мейозе? |
| 10 – 12 | 10. Каковы причины сходства и различий между митозом и мейозом? |

*Гаметы – от греческих слов «gamete» – женщина и «gametes» – мужчина.*
*Словарь иностранных слов*

## § 30. ПОЛОВЫЕ КЛЕТКИ И ОПЛОДОТВОРЕНИЕ

**Основные понятия и ключевые термины: Половые клетки. Яйцеклетка. Сперматозоон. Гаметогенез. ОПЛОДОТВОРЕНИЕ.**

**Вспомните!** Что такое мейоз?

**Подумайте!**

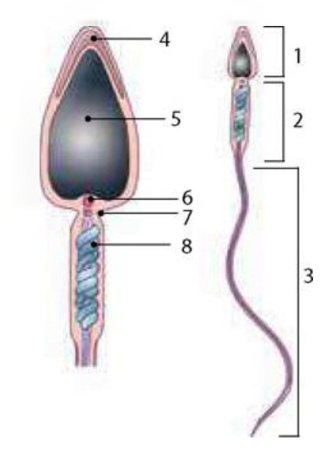
Половое размножение – это воспроизведение многоклеточными организмами себе подобных с помощью гамет. Преимущества этого способа размножения над бесполым связаны с тем, что потомки генетически разнообразны. Это существенно повышает устойчивость вида к изменяющимся условиям среды. А какова роль в этом половых клеток?



### СОДЕРЖАНИЕ

### Что определяет особенности половых клеток?

**ПОЛОВЫЕ КЛЕТКИ**, или **гаметы**, – *это клетки с гаплоидным набором хромосом, выполняющие функцию передачи наследственной информации*. Эти клетки образуются в процессе мейоза и по его завершении имеют половинный набор хромосом и изменённую генетическую информацию. Возможности рекомбинации ДНК, выполняющих основную роль в изменении наследственного материала, впечатляют. Нет двух абсолютно подобных мужских или женских гамет, образованных родительскими организмами. А если к этому источнику наследственной изменчивости добавить ещё независимое расхождение гомологичных хромосом, случайность оплодотворения, постоянное мутагенное влияние среды, то мы поймём, почему нет, не было и не будет двух абсолютно похожих организмов одного вида.



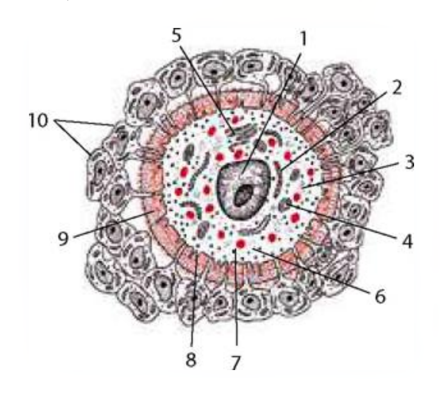

Ил. 77. Строение сперматозоона: 1 – головка; 2 – промежуточная часть; 3 – хвостовая часть; 4 – акросома; 5 – ядро; 6 – клеточный центр; 7 – шейка; 8 – митохондрия

Мужские гаметы называются **сперматозоонами**. Это в основном подвижные клетки удлинённой формы. Движение происходит с помощью одного или нескольких жгутиков или ложноножек (например, у ракообразных). Важное значение при этом имеет реотаксис – способность двигаться против течения. У некоторых растений, животных и грибов сперматозооны жгутиков не имеют, поэтому их называют спермиями.

Сперматозооны, как правило, микроскопичны. Длина гамет у большинства организмов – от 10 до 800 мкм, у некоторых ракообразных может достигать 8 000 мкм. Но крупнейшими являются сперматозооны дрозофил, у которых длина достигает 5,8 см, что в 20 раз превышает длину тела самих насекомых.

Типичные сперматозооны имеют головку, промежуточную и хвостовую части (*ил. 77*). Головка гаметы содержит ядро с гаплоидным набором хромосом, тоненький слой цитоплазмы и акросому с ферментами. В шейке содержится центриоля, организующая движения хвоста мужских гамет. В промежуточной части большая спиральная митохондрия, которая синтезирует АТФ для движения клетки. Хвост мужских гамет имеет для движения микротрубочки из тубулина. Все сперматозооны обладают отрицательным зарядом, препятствующим их склеиванию.

**Яйцеклетки** – *женские половые клетки* (*ил. 78*). Это в основном неподвижные, шаровидные или овальные клетки, значительно больших размеров, чем соматические клетки и сперматозооны. Так, диаметр яйцеклетки млекопитающих – 100 – 200 мкм, у селёдочной акулы достигает 22 см. Типичные яйцеклетки имеют поверхностный аппарат, цитоплазму и ядро. Первичная (вителиновая) оболочка состоит из гликопротеидов, помогающих сперматозоону попасть в яйцеклетку и выполняющих барьерную функцию, обеспечивая проникновение сперматозоона только соответствующего вида. Под ней расположена плазматическая мембрана, а дальше – кортикальный слой с гранулами. Когда сперматозоон попадает в яйцеклетку, вещества кортикальных гранул секретируются путём экзоцитоза на поверхность мембраны, изменяют состояние первичной оболочки и придают яйцеклетке непроницаемости для других сперматозоонов. Цитоплазма яйцеклетки называется овоплазмою и содержит большое количество питательных веществ (желток), защитных соединений, много митохондрий, рибосом, развитую ЭПС. Ядро имеет гаплоидный набор хромосом.




Ил. 78. Яйцеклетка млекопитающего: 1 – ядро; 2 – ЭПС; 3 – овоплазма; 4 – митохондрия; 5 – комплекс Гольджи; 6 – лизосомы; 7 – кортикальные гранулы; 8 – плазматическая мембрана; 9 – вителиновая оболочка; 10 – фолликулярная оболочка

Итак, особенности строения, химического состава и процессов жизнедеятельности гамет способствуют их функции, то есть передаче генетической информации от родителей потомству.

## Как образуются гаметы?

**Гаметогенез** – *процесс образования и созревания половых клеток, происходящий в половых железах*. Развитие гамет у многоклеточных животных происходит в половых железах – гонадах, у растений и грибов – в гаметангиях. Основные стадии гаметогенеза таковы.

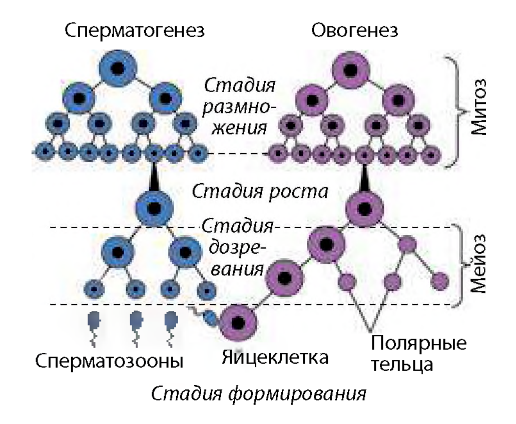
I. ***Стадия размножения*** – клетки-предшественники (овогонии и сперматогонии) размножаются путём митоза, и их количество увеличивается.

II. ***Стадия роста*** – образовавшиеся овогонии и сперматогонии растут и становятся сперматоцитами и овоцитами I порядка.

III. ***Стадия созревания*** – овоциты и сперматоциты делятся путём мейоза. После первого деления мейоза образуются сперматоциты и овоциты II порядка, а после второго деления – сперматиды и овотиды.

Наличие стадий размножения, роста и созревания является признаком подобия сперматогенеза и овогенеза. Но, несмотря на заметное сходство этих процессов, каждый из них имеет свои особенности.

***Сперматогенез*** – *процесс образования и созревания мужских гамет*. Особенностями сперматогенеза являются: 1) на стадии созревания из одного сперматоцита I порядка образуются 4 одинаковые гаплоидные клетки-сперматиды; 2) на стадии формирования, которая характерна только для сперматогенеза, сперматиды изменяются: из шаровидных клеток формируются удлинённые сперматозооны, имеющие головку, шейку и хвост.




Ил. 79. Схема сперматo- и овогенеза

***Овогенез*** – *процесс образования и созревания женских гамет*. Особенностями овогенеза являются: 1) три стадии процесса: размножение, рост и созревание; 2) на стадии созревания из одного овоцита I порядка образуются 4 неодинаковые гаплоидные клетки: одна большая яйцеклетка и три мелких полярных тельца. Созревание завершается уже после оплодотворения, а полярные тельца исчезают (*ил. 79*).

Различия в формировании сперматозоонов и яйцеклеток объясняются их функциями: сперматозооны обеспечивают внесение в яйцеклетку гаплоидного набора хромосом, а яйцеклетка кроме своей половины генетического материала содержит запас питательных веществ, необходимых для развития зародыша.

Итак, сперматo- и овогенез имеют признаки подобия, что объясняется общим происхождением исходных клеток-предшественников, и отличия, обусловленные функциями зрелых клеток.

**Каково значение оплодотворения?**

ОПЛОДОТВОРЕНИЕ – *процесс слияния мужской и женской половых клеток с образованием зиготы, которая даёт начало новому организму*. Только в 1875 г. было доказано, что основой процесса оплодотворения является слияние ядер одной женской и одной мужской половых клеток, и тем самым объединение их хромосом. В результате объединения гаплоидных наборов хромосом восстанавливается их диплоидное число.

Существуют два способа оплодотворения: внешнее и внутреннее. Почти все водные позвоночные животные (рыбы, земноводные и т. д.) откладывают икру (яйцеклетки) и сперму в воду, где и происходит оплодотворение. Исключение составляют живородящие рыбы, некоторые земноводные, крокодилы, водные млекопитающие, которым свойственно внутреннее оплодотворение.

| Форма оплодотворения | |
|---|---|
| ***Внешнее оплодотворение*** (слияние гамет происходит вне организма в воде) | ***Внутреннее оплодотворение*** (гаметы сливаются в организме, без участия воды) |
| У животных (ракообразные, костные рыбы, земноводные)<br>У растений (водоросли, высшие споровые растения) | У животных (плоские и круглые черви, паукообразные, насекомые, пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие)<br>У растений (голо- и покрытосеменные) |

Биологическое значение оплодотворения заключается в том, что: 1) восстанавливается хромосомный набор, присущий данному виду; 2) наблюдается увеличение наследственного разнообразия, поскольку потомки сочетают в себе признаки как материнского, так и отцовского организмов.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сравнение

С помощью таблицы сравните мужские и женские гаметы и поясните причины сходства и отличий.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЯЙЦЕКЛЕТОК И СПЕРМАТОЗООНОВ**

| Особенности | Яйцеклетки | Сперматозооны |
|---|---|---|
| Набор хромосом | | |
| Особенности строения | | |
| Где образуются? | | |
| Размеры, формы | | |
| Питательные вещества | | |
| Способность к движению | | |
| Функции | | |



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Модельные организмы



Лилия лесная (*Lilium martagon*) – многолетнее растение семейства Лилейные. Это единственный вид лилий, который растёт в Украине в дикорастущем состоянии, занесён в Красную книгу Украины. Лилия лесная изображена на эмблеме ботанического сада имени А. В. Фомина. Это растение было объектом для открытия ***С. Г. Навашиным*** (1857 – 1930) в 1898 г. двойного оплодотворения у покрытосеменных растений. Оцените значение гаметогенеза и оплодотворения для цветочных растений.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое половые клетки? 2. Назовите типы гамет. 3. Что такое гаметогенез? 4. Назовите стадии гаметогенеза. 5. Что такое оплодотворение? 6. Назовите типы оплодотворения. |
| 7 – 9 | 7. Что определяет особенности половых клеток? 8. Как образуются гаметы? 9. Как происходит оплодотворение гамет? |
| 10 – 12 | 10. Каковы причины сходства и отличий яйцеклетки и сперматозоонов? |

*Развитие одноклеточной зиготы в многоклеточный организм, или человеческого существа, или дуба, происходит в результате процессов роста и дифференциации.*
*К. Свенсон*

# § 31. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

**Основные понятия и ключевые термины: ОНТОГЕНЕЗ. Рост. Дифференциация.**

**Вспомните!** Что такое развитие?

## Упражнение

Средняя масса новорождённого составляет 3200 г, а масса взрослого человека – в среднем 64 кг. Во сколько раз и благодаря чему происходит увеличение массы новорождённого в ходе онтогенеза человека?





## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы основные закономерности онтогенеза?

ОНТОГЕНЕЗ (от греч. *онтос* – то, что существует; *генезис* – происхождение) – *это индивидуальное развитие особи от её зарождения до смерти*. Термин «онтогенез» ввёл в науку немецкий естествоиспытатель ***Э. Геккель*** ещё в 1866 г. Исследованиями онтогенеза занимается ***биология развития***. Основными задачами этой относительно молодой науки, возникшей в течение последних 40 лет XX в., является изучение закономерностей реализации генетической информации организмов на протяжении жизни, познание механизмов роста и дифференциации клеток, формирование тканей и органов, а также процессов регуляции функций, регенерации, старения и др.



Ил. 80. Эрнест Геккель (1834–1919)

Особенности онтогенеза различных организмов зависят от уровня организации, особенностей жизнедеятельности, происхождения и т. п. Так, у многоклеточных животных в процессе образования зародыша возникают зародышевые листки (эктодерма, энтодерма и мезодерма), из которых формируются ткани (эпителиальная, соединительная, мышечная и нервная), и органы, присущие взрослым особям. А у высших растений зародыш имеет зачаточные органы (зародышевый корешок, стебелёк и почечку), формируемые из зародышевой образовательной ткани.

Несмотря на существенные отличия, онтогенез различных организмов имеет и общие закономерности.

1. ***Запрограммированность онтогенеза***. Программа индивидуального развития – это закодированная в генах наследственная информация, которая реализуется во взаимодействии с факторами среды.

2. ***Неравномерность процессов онтогенеза***. Процессы онтогенеза (рост, дифференциация, размножение, регенерация, старение) происходят с различной интенсивностью в разные периоды и стадии развития особей. Например, скорость роста выше в начале онтогенеза,

с возрастом наблюдается снижение адаптационных возможностей и жизнеспособности организма.

3. ***Необратимость онтогенеза.*** При реализации генетической программы возвращение к предыдущим стадиям онтогенеза невозможно. Хотя учёные описали вид медузы туритопсис (*Turritopsis dohrnii*), которая уникальна тем, что демонстрирует определённую форму бессмертия. Это единственный известный экземпляр среди животных, который способен после достижения половой зрелости полностью возвращаться к неполовозрелой колониальной стадии развития.

4. ***Периодичность онтогенеза.*** Основными периодами онтогенеза организмов являются ***эмбриональный*** (зародышевый) и ***постэмбриональный*** (послезародышевый).

Познание закономерностей, причин и факторов онтогенеза служит научной основой для поиска средств влияния на развитие растений, животных и человека, имеющего важное значение для сельского хозяйства, биотехнологии, экологии, медицины.

Итак, онтогенез – это индивидуальное, запрограммированное, неравномерное, периодическре развитие организмов.

**Какие процессы являются основой онтогенеза?**

Онтогенез – одно из удивительнейших биологических явлений, происходящих благодаря росту и дифференциации.

**Рост** – *процесс, обеспечивающий увеличение массы, размеров, объема клеток благодаря преобладанию анаболизма.* У одноклеточных организмов рост осуществляется в интерфазе и связан с увеличением клетки. Онтогенез многоклеточных организмов кроме роста клеток сопровождается увеличением их количества. Рост бывает ограниченным и неограниченным. *Ограниченным является рост* особи до определённых размеров, обычно при наступлении половой зрелости (например, большинство членистоногих, круглые черви, птицы, млекопитающие). В случае *неограниченного роста* особи увеличиваются в течение всей жизни (например, у высших растений, грибов, кольчатых червей, моллюсков, рыб, пресмыкающихся). В зависимости от строения покровов тела, особенностей развития и условий окружающей среды рост бывает непрерывным или периодическим. При непрерывном росте особь постепенно увеличивается, пока не достигнет определённых размеров или не умрёт. *Периодический рост* происходит, когда периоды увеличения размеров чередуются с периодами прекращения роста (например, круглые черви и членистоногие растут только во время линьки). Тип роста особей каждого вида наследуется и зависит от регуляционных механизмов организма, действия факторов среды и т. п.

**Дифференциация** – *процесс возникновения различий в строении и функциях клеток, тканей и органов в ходе онтогенеза.* Другими словами – это образование различных клеток из изначально однородных клеток. Генетический материал клеток при этом остаётся неизменным. Происходит преимущественно в эмбриогенезе, а также в постэмбриогенезе благодаря *стволовым клеткам* у животных и *инициальным клеткам* у высших растений. Для упорядоченности роста и дифференциации различных клеток в многоклеточном организме происходят процессы интеграции. ***Интеграция клеток*** – *это процесс объедине-*

*ния клеток в постоянные или временные клеточные комплексы для выполнения определённых функций*. В такой системе первостепенное значение имеют межклеточные контакты. Благодаря интеграции проявляются свойства биологических систем, что является эффектом взаимодействия клеток.

В онтогенезе происходят и другие важные процессы: миграции клеток, сортировка и склеивание (адгезия) клеток, процесс запрограммированной гибели клеток (апоптоз), регенерация и др.

Итак, основными процессами онтогенеза организма являются рост и дифференциация клеток.

**Как происходит регуляция онтогенеза?**

Индивидуальное развитие организмов осуществляется путём избирательной деятельности определённых генов в соответствующем месте и в подходящее время. Центральной гипотезой биологии развития является ***гипотеза дифференциальной активности генов*** (или ***дифференциальной экспрессии генов***), которая заключается в том, что дифференциация клеток происходит без изменений генотипа. Все клетки имеют определённый набор генов, присущий организму, но экспрессия этих генов регулируется таким образом, что клетки синтезируют различные белки, которые и определяют особенности клеток. Основными механизмами, которые обусловливают избирательную работу генов, в результате чего возникают отличия между клетками, является регуляция на уровнях: а) транскрипции; б) созревания РНК; в) трансляции; г) посттрансляционнй модификации белков.

Известно также, что на разных этапах онтогенеза активность генов зависит как от внутренних, так и от внешних факторов. На начальных этапах развития между клетками, образующимися из зиготы, возникают отличия в составе цитоплазмы, связанные с разным количеством желточных включений и органелл. Считается, что это *цитоплазматическое распределение* (сегрегация) и является исходным фактором, активирующим в клетках разные гены.

На более поздних этапах эмбрионального развития вступает в действие *эмбриональная индукция*. Это взаимодействие между частями зародыша, благодаря чему одна из них определяет направление развития соседней (*ил. 81*). Эмбриональная индукция осуществляется в случае непосредственного контакта клеток между собой. За открытие организующих эффектов в эмбриональном развитии немецкий эмбриолог ***Х. Шпеман*** (1869–1941) получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине (1935). Позже было установлено, что эти взаимовлияния осуществляются при участии специальных белковых веществ-индукторов, которые попадают в ядро и изменяют активность генов.



Ил. 81. Взаимодействие частей зародыша, который развивается

На всех этапах развития организмов большое значение имеет регуляция онтогенеза с помощью *гормонов*. Так, значительное количество изменений

у головастика при непрямом развитии происходит под действием тироксина. У животных регуляция развития значительно сложнее, поскольку кроме гормональной происходит и нервная регуляция.

Кроме того, на всех этапах онтогенеза значительное влияние на развитие организмов оказывают *факторы внешней среды* (например, изменения температуры, еда, поступление кислорода и т. д.).

Итак, реализация наследственной информации генотипа при индивидуальном развитии происходит благодаря дифференциальной активности генов, которая подвергается воздействию внутренних и внешних факторов.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление



Перед вами на иллюстрациях онтогенез вишни и лягушки. С помощью таблицы сравните на конкретных примерах онтогенез растений и животных и сделайте вывод о причинах сходства и отличий.

| Признак | Онтогенез растений | Онтогенез животных |
|---|---|---|
| Когда начинается онтогенез? | | |
| Когда завершается онтогенез? | | |
| Где происходит эмбриогенез? | | |
| Из чего формируются ткани и органы зародыша? | | |
| Когда начинается постэмбриогенез? | | |
| Каковы основные процессы онтогенеза? | | |

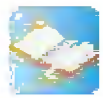


## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Наука



***Александр Ковалевский*** (1840–1901) – украинский естествоиспытатель, которого интересовали сравнительная анатомия и эмбриология, физиология и гистология животных. Сформулировал учение о зародышевых листках и установил общие закономерности развития позвоночных и беспозвоночных животных. О чём свидетельствуют эти общие закономерности онтогенеза животных?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое онтогенез? 2. Какая наука изучает онтогенез организмов? 3. Назовите основные процессы онтогенеза. 4. Что такое рост? 5. Что такое дифференциация клеток? 6. Что такое интеграция клеток? |
| 7 – 9 | 7. Каковы основные закономерности онтогенеза? 8. Какие процессы являются основой индивидуального развития организмов? 9. В чём суть гипотезы дифференциальной активности генов? |
| 10 – 12 | 10. Каковы основные задачи и достижения биологии развития? |

*Рост и развитие организма определяются информацией, содержащейся в его ДНК.*
*Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор. Биология*

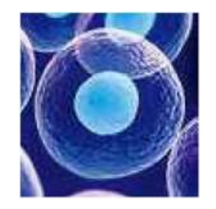
# § 32. ПЕРИОДЫ ОНТОГЕНЕЗА В МНОГОКЛЕТОЧНЫХ ОРГАНИЗМАХ

**Основные понятия и ключевые термины:** ЭМБРИОГЕНЕЗ. ПОСТЭМБРИОГЕНЕЗ. Стволовые клетки.

**Вспомните!** Что такое онтогенез, рост и дифференциация?



### Подумайте!



*«Взрослый человек состоит из миллионов миллионов клеток. Их в десять раз больше, чем звёзд в нашей Галактике или песчинок на небольшом пляже. Существуют сотни типов клеток, и при этом клетки каждого конкретного типа появляются и обновляются в нужном количестве и в нужное время. Вся эта сложная конструкция развивается из одной оплодотворённой яйцеклетки»* (*Д. Дейвис. Онтогенез*). Каким образом из отдельной зиготы появляются различные по строению и функциям клетки? Как происходит развитие организма из зиготы?



### СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы стадии эмбрионального развития?

ЭМБРИОГЕНЕЗ (от греч. *эмбрио* – зародыш и *генезис* – происхождение) – *это период онтогенеза от зиготы до рождения*. Эмбриогенез у разных организмов протекает по-разному, но можно выделить сходные особенности. Так, общими процессами эмбриогенеза растений и животных являются митотические деления зиготы, дифференциация клеток, образование тканей (гистогенез) и органов (органогенез) и др. Все эти процессы осуществляются под контролем генов. За открытия, касающиеся генетического контроля на ранних стадиях эмбриогенеза, Э. Льюис, К. Нюсляйн-Фольгард и Э. Вишаус были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине (1995).

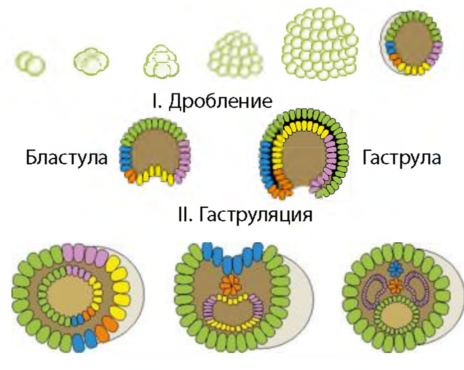
Особенности эмбриогенеза растений и животных рассмотрим на примере покрытосеменных и хордовых.

**Эмбриогенез растений** состоит из таких этапов: 1) образование из зиготы зародышевой образовательной ткани; 2) образование зародышевых органов – корешка и побега; 3) формирование семени. Результатом эмбриогенеза у цветковых растений является семя, содержащее зародыш и запас питательных веществ. Постоянные ткани и органы растения образуются уже после прорастания.

**Эмбриогенез животных** происходит в яйце или внутри материнского организма и состоит из этапов дробления, гаструляции и органогенеза.

***Дробление*** *– ряд последовательных митотических делений зиготы, которые заканчиваются образованием однослойной стадии –* ***бластулы***. Основной клеточный механизм развития на этом этапе – *деление клеток*, происходящее очень быстро. Количество клеток-бластомеров увеличивается вследствие митоза, но роста нет.

***Гаструляция*** – *это процесс формирования двух- или трёхслойного зародыша* – ***гаструлы***. Роста клеток при гаструляции не происходит. Основными проявлениями поведения клеток является *перемещение (миграция) клеток*, благодаря чему образуются *зародышевые листки*: внешний слой – *эктодерма*, внутренний – *энтодерма* и средний – *мезодерма*. На этапе гаструляции важное значение имеют *взаимодействия клеток*, обеспечивающие согласованное формирование отдельных частей организма.




Ил. 82. Этапы эмбриогенеза животных

***Гистогенез*** и ***органогенез*** – *образование тканей и органов* – осуществляются благодаря *митозу, росту, миграциям* и *дифференциации клеток*. У зародыша животных из зародышевых листков формируются эпителиальные, соединительные, мышечные и нервная ткани, которые образуют органы (*ил. 82*).

Перед рождением зародыш имеет органы, присущие взрослому организму, способность к самостоятельному питанию и активному перемещению.

Итак, основными стадиями эмбриогенеза являются дробление, гаструляция, гистогинез и органогенез.

**Чем обусловлены особенности постэмбриогенеза организмов?**

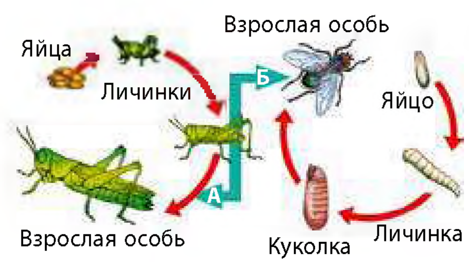
ПОСТЭМБРИОГЕНЕЗ (от лат. *post* – после и греч. *эмбрио* – зародыш) – *это послезародышевый период, длящийся от рождения до смерти*. В постэмбриогенезе организмы начинают *самостоятельный образ* жизни, усиливается влияние факторов среды. Поэтому усложняются жизненные функции организма, активируются системы защиты, регуляции функций, появляются новые органы и т. п. Основными проявлениями клеточной активности постэмбриогенеза являются деление, рост, старение, гибель клеток, регенерация тканей и органов. В постэмбриогенезе у большинства организмов происходят половое созревание, размножение, а затем старение и смерть.

**Постэмбриогенез растений** (на примере покрытосеменных) включает такие этапы: ***этап проростка*** (от прорастания до формирования первых зелёных листьев), ***этап молодости*** (от появления первых зелёных листьев до цветения), ***этап зрелости*** (от первого цветения до утраты способности к размножению семенами), ***этап старения*** (от окончания последнего плодоношения до гибели) и ***смерть***. Образование растительных тканей и органов происходит после прорастания семени. Первым из зародышевого корешка формируется корень растения, а затем побег.

**Постэмбриогенез животных** (на примере хордовых) включает такие этапы: ***неполовозрелый этап*** (от рождения до полового созревания), ***этап полового созревания*** (период появления способности к половому

размножению), ***этап половой зрелости*** (совпадает со способностью к половому размножению), ***этап старения*** (от потери способности к половому размножению и гибели) и ***смерть***. Ткани и органы родившегося организма заложены в эмбриогенезе, а в постэмбриогенезе они растут и обновляются.

По особенностям преобразований постэмбриогенез животных может быть прямым и непрямым. **Прямое развитие** – *это развитие, при котором только что родившееся животное вообще напоминает взрослое* (млекопитающие, пресмыкающиеся, птицы, хрящевые рыбы, пауки). Биологическое значение заключается в том, что снижается уязвимость рождённого животного в среде жизни. **Непрямое развитие** – *это развитие, при котором образуется личинка; она превращается во взрослую особь непосредственно или через преобразования* (*ил. 83*). Биологическое значение непрямого развития заключается в осуществлении следующих функций: а) питательной; б) рационального использования ресурсов; в) расселения; г) заражения хозяев. Разновидностями непрямого развития являются:



Ил. 83. Косвенное развитие:
А – с неполным превращением;
Б – с полным превращением

- *непрямое развитие с полным превращением*; развитие личинки сопровождается перестройкой всех его органов (твёрдо-, чешуе-, дву-, перепончатокрылые, блохи, костные рыбы, амфибии);
- *непрямое развитие с неполным превращением*; это развитие личинки, в которой преобразования затрагивают отдельные органы (прямокрылые, тараканы, клопы).

Итак, особенности постэмбриогенеза обусловливают начало самостоятельной жизни и необходимость размножения.

## Каково значение стволовых клеток в постэмбриональном развитии?

Стволовые клетки есть у всех многоклеточных организмов. Этим клеткам присуще деление, при котором одна дочерняя клетка остаётся стволовой, а другая – становится клеткой-предшественницей для других типов клеток. Существуют две категории стволовых клеток: *эмбриональные стволовые клетки*, которые происходят непосредственно от бластомеров, и *стволовые клетки взрослого организма*, содержащиеся в зрелых тканях. У зародышей эмбриональные стволовые клетки дифференцируются в эмбриональные ткани. Стволовые клетки взрослого организма действуют как репаративная система, поддерживая нужное количество специализированных клеток. Они обладают способностью не только перемещаться, но и находить и устранять повреждения различных органов и тканей. По способности к дифференциации стволовые клетки делятся на тотипотентные, плюрипотентные и унипотентные. ***Тотипотентные клетки*** способны давать начало всем тканям тела и целому организму, ***плюрипотентные*** – могут

дифференцироваться в любой из типов клеток взрослого организма, но новый организм из них образоваться уже не может, а ***унипотентные*** способны развиваться в клетки только одного типа. Тотипотентными являются лишь зигота и бластомеры до стадии морулы включительно (стадия дробления из 32 бластомеров).




Ил. 84. Дифференциация стволовых клеток

Итак, **стволовые клетки** – неспециализированные клетки, способные к неограниченному делению, дающие начало новым клеткам.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

С помощью таблицы «Сравнительная характеристика периодов и этапов онтогенеза растений и животных» сравните в рабочих тетрадях последовательность периодов и этапов онтогенеза растений и животных. Определите сходство и различия.

| Онтогенез растений | Онтогенез животных |
|---|---|
| ЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ПЕРИОД (ЭМБРИОГЕНЕЗ) | |
| 1. | 1. |
| 2. | 2. |
| 3. | 3. |
| ПОСТЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ПЕРИОД (ПОСТЭМБРИОГЕНЕЗ) | |
| 1. | 1. |
| 2. | 2. |
| 3. | 3. |
| 4. | 4. |
| 5. | 5. |

## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Экология



***Бронзовка мохнатая***, или оленка волосатая (*Tropinota hirta*), – насекомое ряда Жесткокрылые, которая является вредителем многих сельскохозяйственных растений. В последние годы наблюдается нашествие этого жука, который на стадии имаго поедает цветы яблонь, груш, вишни и многих других садовых культур, нанося большой ущерб. Каковы же особенности развития этого насекомого и на каких стадиях онтогенеза меры борьбы с вредителем будут эффективными?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое эмбриогенез? 2. Назовите общие процессы эмбриогенеза растений и животных. 3. Что такое постэмбриогенез? 4. Назовите этапы постэмбриогенеза растений. 5. Назовите этапы постэмбриогенеза животных. 6. Что такое стволовые клетки? |
| 7 – 9 | 7. Назовите стадии эмбриогенеза. 8. Чем обусловлены особенности постэмбриогенеза организмов? 9. Каково значение стволовых клеток в постэмбриогенезе? |
| 10 – 12 | 10. Каковы причины различий эмбриогенеза и постэмбриогенеза растений и животных? |

# Обобщение темы 4. СОХРАНЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

**НАСЛЕДСТВЕННАЯ (ГЕНЕТИЧЕСКАЯ) ИНФОРМАЦИЯ** – *совокупность сведений о составе, строении белков и РНК и связанных с ними функциях, заложенных в генах и закодированных в последовательности нуклеотидов молекул ДНК или РНК.*

Эта информация передаётся потомству при размножении и половых процессах (конъюгации, трансдукции, трансформации), реализуется в процессе индивидуального развития особи и проявляется в виде определённых признаков и свойств организма (*табл. 8*).

**Таблица 8. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕМЫ**

| Понятия | Суть |
|---|---|
| **ГЕН** | Участок ДНК, содержащий информацию о первичной структуре молекулы белка или РНК и определяет возможность развития признака |
| ГЕНОМ | Совокупность наследственной информации в клетках организма определённого вида, записанной на ДНК |
| **ХРОМОСОМЫ** | Структуры клеток эукариотов, обеспечивающих сохранение, распределение и передачу наследственной информации |
| **ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ** | Использование наследственной информации генов для синтеза функциональных продуктов–- молекул РНК и белков |
| **ТРАНСКРИПЦИЯ** | Передача информации о первичной структуре белка с молекулы ДНК на иРНК |
| ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД | Сохранение наследственной информации об аминокислотах белков в молекулах ДНК в виде последовательностей нуклеотидов |
| **ТРАНСЛЯЦИЯ** | Совокупность процессов, осуществляющих преобразование наследственной информации иРНК в белок первичной структуры |
| **РЕПЛИКАЦИЯ** | Самоудвоение ДНК, обеспечивающее точное копирование наследственной информации и её передачу из поколения в поколение |
| **РЕПАРАЦИЯ ДНК** | Совокупность процессов, с помощью которых клетка находит и исправляет повреждения молекул ДНК |
| ДЕЛЕНИЕ КЛЕТОК | Совокупность процессов, благодаря которым наследственная информация клетки передаётся следующему поколению клеток |
| КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ | Период существования клетки от одного деления до другого или гибели клетки |
| **МИТОЗ** | Разделение эукариотической клетки с образованием двух клеток с таким же набором хромосом, как и у материнской клетки |
| **МЕЙОЗ** | Деление эукариотических клеток, вследствие которого образуются дочерние клетки с вдвое меньшим набором хромосом |
| РЕКОМБИНАЦИЯ ДНК | Перераспределение генетической информации ДНК, что приводит к возникновению новых комбинаций генов |
| ПОЛОВЫЕ КЛЕТКИ | Клетки с гаплоидным набором хромосом для передачи наследственной информации при половом размножении |
| ОПЛОДОТВОРЕНИЕ | Процесс слияния мужской и женской половых клеток с образованием зиготы, дающей начало новому организму |
| **ОНТОГЕНЕЗ** | Индивидуальное развитие особи от зарождения до смерти, происходящее в соответствии с определёнными закономерностями |
| **ЭМБРИОГЕНЕЗ** | Период онтогенеза от зиготы до рождения |
| **ПОСТЭМБРИОГЕНЕЗ** | Период онтогенеза, длится от рождения до гибели |

## Самоконтроль знаний



На иллюстрации изображён один из красивейших видов пауков – *паук-павлин леопардовый* (*Maratus pardus*), открытый в 2014 г. в Австралии. Примените свои знания темы для ознакомления с этим пауком.

**Тест-оценивание 4. СОХРАНЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**1.** Где в клетках паука сохраняется наследственная информация о строении, жизнедеятельности и поведении?
**А** в гене **Б** в ядре **В** в хромосоме **Г** в тРНК

**2.** Какой процесс обеспечивает копирование наследственной информации паука для её передачи следующему поколению?
**А** репарация **Б** рекомбинация **В** репликация **Г** регенерация

**3.** В каком наборе хромосом наследственная информация передаётся следующему поколению?
**А** в гаплоидном **Б** диплоидном **В** триплоидном **Г** полиплоидном

**4.** Какой процесс обеспечивает сочетание наследственной информации самца и самки паука?
**А** трансляция **Б** транскрипция **В** оплодотворение **Г** экспрессия

**5.** Какие структуры определяют отличие признаков самца от самки у паука?
**А** гомологичные хромосомы **Б** геном
**В** аутосомы **Г** половые хромосомы

**6.** Какие клетки осуществляют передачу наследственной информации следующему поколению?
**А** неполовые диплоидные **В** половые гаплоидные
**Б** неполовые гаплоидные **Г** половые диплоидные

**7.** Передние большие глаза пауков содержат фоторецепторы со зрительными пигментами. Как называется процесс образования этих белков?
**А** трансляция **Б** транскрипция **В** экспрессия **Г** оплодотворение

**8.** Пауки павлины известны своими брачными танцами. Назовите период и этап онтогенеза, когда наблюдаются эти проявления полового поведения.
**А** эмбриогенез; органогенез
**Б** эмбриогенез; гаструляция
**В** постэмбриогенез; этап половой зрелости
**Г** постембриогенез; этап созревания

**9.** Паутина пауков-павлинов, которую они используют для коконов, образована из белка фиброина. Как информация об этом соединении закодирована у пауков?
**А** в виде последовательности нуклеотидов ДНК
**Б** в виде последовательности нуклеотидов РНК
**В** в виде последовательности аминокислот
**Г** в виде последовательности жирных кислот

**10.** Пауки-павлины ведут бродячий образ жизни и постоянно подвергаются воздействию среды. Как называется процесс исправления повреждений их ДНК?
**А** репарация **Б** рекомбинация **В** репликация **Г** регенерация

**11.** Как называется процесс видоизменения наследственной информации, являющийся основой такого разнообразия?
**А** репарация **Б** рекомбинация **В** репликация **Г** регенерация

**12.** Самцы пауков-павлинов достигают размеров всего до 5 мм. А какой процесс обеспечивает их рост?
**А** почкование **Б** мейоз **В** бинарное деление **Г** митоз








# Тема 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ

*Генетика – это не только основа биологии, но и философия жизни вообще.*
*Т. Бужиевская*

## § 33. ГЕНЕТИКА. МЕТОДЫ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Основные понятия и ключевые термины: ГЕНЕТИКА. Гибридологический метод.**

**Вспомните!** Что такое гены?

**Знакомьтесь!**

***Грегор Иоганн Мендель*** (1822–1884) – австрийский естествоиспытатель, католический священник. В обычном саду провёл опыты, ставшие основой генетики. Результаты исследований Мендель опубликовал в научном труде «Эксперименты с растительными гибридами» в 1866 г., в которой ознакомил мир с законами наследственности.





### СОДЕРЖАНИЕ

**Каковы задачи современной генетики?**

ГЕНЕТИКА (от греч. *генетис* – происхождение) – *наука о закономерностях наследственности и изменчивости организмов*. Датой рождения генетики считается 1900 г., когда ботаники – голландский – Хуго де Фриз (1845–1935), немецкий – Карл Корренс (1864–1933) и австрийский – Эрих Чермак (1871–1962), независимо друг от друга, подтвердили закономерности наследственности, установленные Г. Менделем.

Задачи современной генетики связаны с ее основными разделами:

- изучение генетических основ селекции для выведения новых пород животных, сортов растений и штаммов микроорганизмов (*селекционная генетика*);
- изучение наследственных заболеваний человека и животных для их профилактики и лечения (*медицинская генетика*);
- изучение влияния радиации на наследственность и изменчивость организмов для предотвращения вредных мутаций (*радиационная генетика*);
- изучение генетической структуры и динамики популяций для выяснения закономерностей эволюции организмов (*популяционная генетика*);
- изучение молекулярных основ наследственности для развития генетической инженерии (*молекулярная генетика*);
- изучение особенностей наследственности и изменчивости в популяциях людей (*генетика человека*).

Кроме названных разделов возникли и развиваются *иммуногенетика, онтогенетика, психогенетика, фармакогенетика, экогенетики, цитогенетика* и др.

Итак, современная генетика стремительно развивается и характеризуется проникновением почти во все области человеческой деятельности, что обусловлено потребностями общества.

**В чём суть основных методов генетических исследований?**

Древнейшим из методов генетики является гибридологический метод, предложенный Г. Менделем. **Гибридологический метод** – *скрещивание организмов и оценка проявления признаков у гибридов*. Потомков, полученных от такого скрещивания, называют гибридами (от лат. *hibrida* – помесь).

С древнейших времён используется изучение родословных. ***Генеалогический метод*** – изучение родословных организмов для определения характера наследования признаков. С его помощью устанавливают генотип особей и определяют вероятность проявления состояний признака у потомков.

С помощью светового микроскопа проводят исследования наследственности на клеточном уровне. ***Цитогенетические методы*** – методы исследования особенностей кариотипа организмов. Изучение кариотипа позволяет выявлять мутации, связанные с изменением числа хромосом и структуры отдельных из них.

***Биохимические методы*** используют для изучения наследственных заболеваний, связанных с обменом веществ. С их помощью выявляют наследственные нарушения (например, сахарный диабет, фенилкетонурию), обусловленные генными мутациями.

Ил. 85. Монозиготные близнецы

***Близнецовый метод*** применяют для изучения роли среды и генотипа в формировании фенотипа особей. Особое значение имеют исследования монозиготных (однояйцевых) близнецов, имеющих одинаковые генотипы.

***Популяционно-статистический метод*** – изучение закономерностей наследования и изменчивости на уровне популяций. Этот метод даёт возможность изучать частоты встречаемости аллелей и генотипов в популяциях организмов.

***Методы генетической инженерии*** – это особая группа методов, с помощью которых изучают перемещения, перестройку, сочетание генов и изменение наследственности. К этой группе относятся методы генной инженерии (например, метод искусственного синтеза генов вне организма), методы клеточной инженерии (например, метод гибридизации соматических клеток) и др.

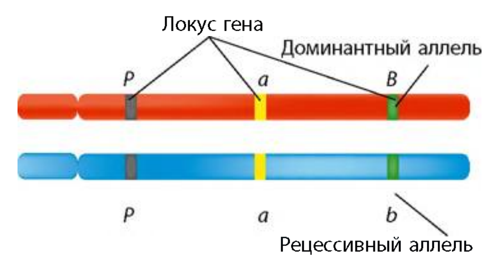
В современной генетике используются самые разнообразные методы, но основным остаётся гибридологический метод.

**Каковы основные понятия генетики?**

Предметом генетических исследований являются наследственность и изменчивость. ***Наследственность*** – *способность живых организмов передавать генетическую информацию о своих признаках и особенностях индивидуального развития потомкам*. Материальными носителями наследственности являются хромосомы, в состав которых входит

ДНК. ***Изменчивость** – способность живых организмов приобретать новые признаки и их состояния в процессе индивидуального развития.* Обеспечивает приспособленность организмов к условиям среды и появление признаков.

Единицами наследственности являются гены. Вспомним, что ***ген** представляет собой участок молекулы нуклеиновой кислоты, кодирующей информацию о белке или РНК и определяющей признаки организмов.* Примерами наследственных признаков, которые определяются генами, являются цвет глаз, форма плодов и др. Каждый ген расположен в определённой хромосоме, где занимает определённое место – локус (от лат. *locus* – участок). Каждая соматическая клетка содержит диплоидный набор гомологичных хромосом, имеющих в своих локусах различные формы одного гена. ***Аллели*** (от греч. *алелон* – взаимный), или ***аллельные гены**, – состояния гена, определяющие проявления признака и расположенные в одинаковых участках гомологичных хромосом* (*ил. 86*). Аллели одного гена определяют различные проявления признака (например, коричневый или голубой цвет глаз, круглую или грушевидную форму плодов у томатов). Одна из гомологичных хромосом несёт аллель от материнского организма, а вторая – от родительского. Аллельные гены могут быть ***доминантными*** (аллели, которые в присутствии другого всегда проявляются в форме состояния признака) и ***рецессивными*** (аллели, которые подавляются в присутствии доминантных и не проявляются состоянием признака).



Ил. 86. Аллельные гены

В обеих гомологичных хромосомах могут находиться одинаковые или разные аллельные гены. ***Гомозигота** – это клетка тела или особь, гомологичные хромосомы которой содержат одинаковые аллели определённого гена.* Гомозиготная особь в потомстве не даёт расщепления и образует один сорт гамет. ***Гетерозигота** – это клетка тела или особь, гомологичные хромосомы которой содержат разные аллели определённого гена.* Гетерозиготная особь в потомстве даёт расщепление и образует различные сорта гамет.

***Генотип** – совокупность всех генов организма, полученных от родителей.* Это наследственная программа организма, которая является целостной и взаимодействующей системой генов. Генотип во взаимодействии со средой определяет фенотип. ***Фенотип** – совокупность признаков и свойств организма, которые являются результатом взаимодействия генотипа с условиями внешней среды.* Организмы, имеющие одинаковый генотип, могут отличаться друг от друга фенотипом.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Самостоятельная работа с иллюстрацией

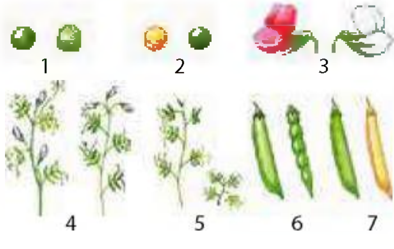
Символ – условный знак, который обозначает другую сущность. Знаком может быть изображение, слово, число, заменяющее другое понятие. Используя дополнительную литературу определите суть символов генетики.

| | |
|---|---|
| P – .......................... | X, Y – .................................... |
| × – .......................... | A, B, C ... – .......................... |
| ♀– .......................... | a, b, c ... – .......................... |
| ♂– .......................... | AA, AABB ... – ...................... |
| F – .......................... | Aa, AaBb ... – ...................... |
| G – .......................... | aa, aabb ... – ...................... |




**Биология + Модельные организмы**

Г. Мендель изучал у гороха посевного (*Pisum sativum*) наследование таких признаков, как: 1 – поверхность семян; 2 – окраска семян; 3 – окраска цветков; 4 – расположение цветков на побеге; 5 – длина стебля; 6 – форма бобов; 7 – окраска бобов. А какие особенности гороха посевного сделали его удачным объектом генетических исследований?






## ОТНОШЕНИЕ

**Биология + Наука**

Сопоставьте фамилии учёных с выдающимися событиями в развитии генетики, заполните таблицу ответов и получите название методов, направленных на внесение изменений в генотип человека с целью лечения заболеваний. Какие новые задачи стоят перед генетикой в XXI в.?

**КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ ГЕНЕТИКИ**

| Фамилия | Открытие |
|---|---|
| **1** Г. Мендель | **А** Открытие мутаций под действием рентгеновских лучей |
| **2** Х. де Фриз, К. Корренс, Э. Чермак | **Г** Основные закономерности наследственности |
| **3** В. Бэтсон | **$Е_1$** Переоткрытые законы наследственности Менделя |
| **4** Г. Харди, В. Вайнберг | **$Е_2$** Закон гомологических рядов наследственности |
| **5** В. Иогансен | **И** Структура ДНК и её значение в наследственности |
| **6** Н. Вавилов | **Н** Введение термина «генетика» |
| **7** Т. Морган | **О** Закон генетического равновесия популяций |
| **8** Г. Меллер | **П** Определение природы генетического кода |
| **9** Ф. Крик, Л. Барнет, С. Бреннер | **Р** Хромосомная теория наследственности |
| **10** Ф. Крик, Дж. Уотсон и др. | **Т** Введение терминов «ген», «генотип», «фенотип» |
| **11** В. Арбер, Д. Натанс, Г. Смит | **Я** Открытие рестриктаз и их применение |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | |



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое генетика? 2. Назовите разделы генетики. 3. Назовите методы генетики. 4. Что такое гибридологический метод? 5. Что такое ген и аллельные гены? 6. Что такое гомозигота и гетерозигота, генотип и фенотип? |
| 7 – 9 | 7. Каковы задачи современной генетики? 8. В чём заключается суть основных методов генетических исследований? 9. Каковы основные понятия генетики? |
| 10 – 12 | 10. Каково значение генетических знаний в деятельности человека? |

*Если сажал грушу, то не жди персиков, если сеял горох, то не жди тыкв.*
*Китайская пословица*

# § 34. ЗАКОНЫ МЕНДЕЛЯ. ДОМИНИРОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ. РАСЩЕПЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ

**Основные понятия и ключевые термины:** **Моногибридное скрещивания. Доминирование признаков. ЗАКОН ЕДИНООБРАЗИЯ ГИБРИДОВ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ. Расщепление признаков. ЗАКОН РАСЩЕПЛЕНИЯ. Закон чистоты гамет.**

**Вспомните!** Что такое гены?

**Подумайте!**

*«Почему одни цветы – красные, а другие – белые? А васильки всегда синие? Откуда семечко знает, что оно должно дать синий, а не жёлтый цветок? А котята у кошки не всегда похожи на неё по цвету шерсти. Почему? А если у одного из родителей глаза голубые, а у другого – карие, каким будет цвет глаз у их ребенка?»* (Из сказки Н. Горькавого о монахе Менделе).



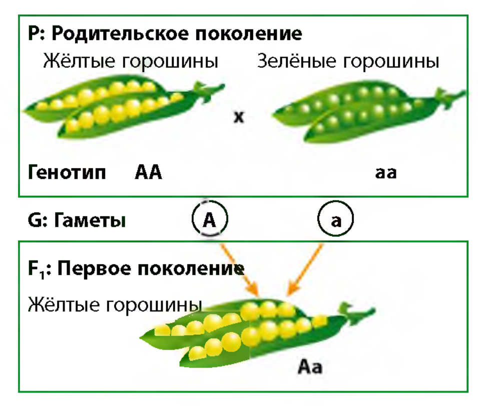
Ил. 87. Т. Приступа. Букет полевых цветов



**СОДЕРЖАНИЕ**

## Почему происходит доминирование проявлений признаков?

Свои исследования Г. Мендель начал с **моногибридного скрещивания**, при котором *родительские особи отличаются проявлениями одного признака*. Были взяты растения чистых линий с жёлтым и зелёным цветом семян. Скрещивание растений происходило путём переноса пыльцы от цветов растений, выросших из жёлтых семян, к цветам растений, выросших из зелёных семян, и наоборот. В первом поколении потомков все горошины всегда были только жёлтого цвета. *Явление преобладания у гибридов первого поколения проявлений признака одного из родителей* Мендель назвал **доминированием признаков** (от лат. *dominantus* – господство), проявление признака у гибридов первого поколения – ***доминантным***, а не проявившийся – ***рецессивным*** (от лат. *recessus* – отступление).




Ил. 88. Схема моногибридного скрещивания, иллюстрирующая I закон Менделя

Аналогичные результаты были обнаружены и в опытах по другим признакам. Так, в случае скрещивания растений с гладкими и морщинистыми семенами всё потомство имело гладкие семена, с пурпурными и белыми цветками – только пурпурные лепестки цветков и др.

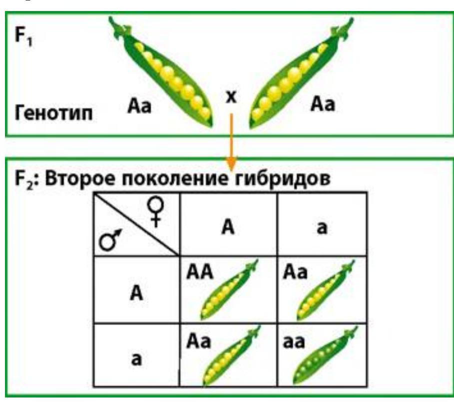
Однообразие первого гибридного поколения и выявление у гибридов только доминантного проявления признака в современной генетике называется *первым законом Менделя*, или *законом единообразия гибридов первого поколения* (*ил. 88*).

Каковы же цитологические основы I закона Менделя? Для опытов использовались родительские растения (Р) чистых линий, то есть особи, имеющие одинаковые аллельные гены и проявления признаков. Все растения, выросшие из жёлтых семян, были доминантными гомозиготами (АА), а растения из зелёных семян – рецессивными гомозиготами (аа). При половом размножении растения из жёлтых семян образовывали гаметы (G) с аллельным геном А, а гаметы растений из зелёных семян – гаметы а. Сочетание таких гамет в зиготе давало генотип Аа, который был одинаковым у всех потомков – гибридов первого поколения ($F_1$).

Итак, **ЗАКОН ЕДИНООБРАЗИЯ ГИБРИДОВ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ** формулируется так: при моногибридном скрещивании родительских особей, различающихся проявлениями одного признака, в потомстве наблюдаются только доминантные проявления признака, и все потомки будут однообразными как по генотипу, так и по фенотипу.

**Почему среди потомков наблюдается расщепление?**

При скрещивании гетерозиготных гибридов первого поколения между собой во втором поколении появляются особи как с доминантными, так и с рецессивными проявлениями признаков, то есть возникает расщепление в определённых отношениях. **Расщепление признаков** – *явление появления обоих проявлений признака у гибридов второго поколения* ($F_2$), *полученных от скрещивания гетерозиготных особей*. Так, в опытах Менделя с 8 023 жёлтыми семенами гороха, полученными во втором поколении, было 6 022 жёлтых и 2 001 зелёных. Обобщая фактический материал, Мендель пришёл к выводу, что во втором поколении 75 % особей имеют доминантное проявление признака, а 25 % – рецессивное (расщепление 3 : 1). Эта закономерность получила название *второго закона Менделя*, или *закона расщепления* (*ил. 89*).



Ил. 89. Схема моногибридного скрещивания, иллюстрирующая II закон Менделя

Почему же происходит расщепление? Гибриды первого поколения являются гетерозиготами (Аа) и при половом размножении образуют два типа гамет, половина из которых с доминантным аллелем (А), а половина – с рецессивным (а). При оплодотворении и образовании зиготы вероятны четыре возможные комбинации – АА, Аа, Аа, аа, дающие расщепление по генотипу 1АА : 2Аа : 1 аа. По внешнему проявлению особи АА и Аа не отличались, поэтому расщепление по фенотипу будет в соотношении 3 : 1.

Итак, **ЗАКОН РАСЩЕПЛЕНИЯ** формулируется так: при моногибридном скрещивании двух гибридов первого поколения, которые являются гетерозиготами, в потомстве наблюдается расщепление по фенотипу 3 : 1 и по генотипу 1 : 2 : 1.

**В чём суть закона чистоты гамет?**

Появление среди потомков особей с рецессивным проявлением признаков позволила Менделю сделать вывод о том, что «наследственные задатки» могут подавляться, но не исчезать. Поскольку передача проявления признаков осуществляется через гаметы, то была сформулирована *гипотеза чистоты гамет*. Позже эта гипотеза получила цитологическое объяснение, и в 1902 г. английский генетик В. Бэтсон сформулировал *закон чистоты гамет*: у гибридного (гетерозиготного) организма гаметы «чистые».

Как уже отмечалось, в локусах гомологичных хромосом содержатся аллели гена. Если это гетерозиготная особь, то в одной из гомологичных хромосом содержится доминантный аллель, во второй – рецессивный. В случае образования половых клеток происходит мейоз, и в каждую из гамет попадает гаплоидный набор хромосом. Гаметы имеют только одну хромосому из каждой пары гомологичных хромосом и, соответственно, только один ген из каждой пары аллельных генов, то есть гаметы чистые.

Итак, **закон чистоты гамет** формулируется так:
при образовании половых клеток в каждую гамету попадает
только один аллель из каждой пары аллельных генов.

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**

**Практическая работа № 3 (А)**

**СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ МОНОГИБРИДНОГО СКРЕЩИВАНИЯ**

**Цель:** закрепляем знания I и II законов Менделя; формируем умение составлять схемы моногибридного скрещивания особей.

**Образец составления схемы скрещивания**

**Упражнение.** *У человека карий цвет глаз доминирует над голубым. Гомозиготный кареглазый человек женился на голубоглазой женщине. Какой цвет глаз будет у их детей?*

| *Дано:* | *Решение* |
|---|---|
| A – кареглазие<br>a – голубоглазие | Это моногибридное скрещивание с полным доминированием |
| $F_1$ – ? | **P** AA × aa<br>**G** (A) (a)<br>**$F_1$** Aa – 100 % (кареглазие) |

*Ответ*: у всех детей будет коричневый цвет глаз.

**Упражнения для самостоятельной работы**

**Упражнение 1.** У томатов красный цвет доминирует над жёлтым. Запишите схему скрещивания и определите, каких потомков можно ожидать от скрещивания:

*Вариант I*: а) Aa × Aa; б) AA × Aa.

*Вариант II*: а) aa × AA; б) Aa × aa.

**Упражнение 2.** У дрозофилы серый цвет тела доминирует над чёрным. Скрещиваются серые и чёрные особи. Каковы генотипы родительских особей, если от этого скрещивания...

*Вариант I:* ...половина потомков имела серую окраску, половина - чёрную?

*Вариант II:* ...все потомки имеют серую окраску?

**Упражнение 3.** У норок коричневая окраска меха определяется доминантным геном, серая – рецессивным. Определите генотипы потомков от скрещивания:

*Вариант I*: серого самца с коричневой гетерозиготной самкой;

*Вариант II:* коричневого гомозиготного самца с серой самкой.

**Упражнение 4.** У морской свинки волнистая шерсть доминирует над гладкой. Запишите генотипы всех животных в таких скрещиваниях:

*Вариант I*: с волнистой шерстью × с гладкой шерстью = все потомки с волнистой шерстью.

*Вариант II:* с волнистой шерстью × с гладкой шерстью = расщепление 1 : 1.

**Упражнение 5.** У человека низкий рост доминирует над высоким. Родители низкого роста и гетерозиготны по этому признаку. Какова вероятность рождения ...

*Вариант I*: ...детей высокого роста?

*Вариант II:* ...детей низкого роста?

**Упражнение 6.** У томатов аллель нормальной высоты стебля доминирует над геном карликовости. Какое соотношение генотипов будет в поколении от скрещивания ...

*Вариант I.* ...гетерозиготного растения с рецессивной гомозиготой?

*Вариант II:* ... гомозиготного карликового растения с гомозиготным высоким растением?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Математика

Г. Мендель достиг успехов, потому что применил гибридологический метод исследований, осуществлял качественный отбор материала и использовал статистическую обработку результатов. В юности его очень интересовала физика, он изучал математику и особенно такие её разделы, как теория вероятностей и статистика. Что такое статистика? Как этот раздел математики помог Менделю в его исследованиях?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое доминирование признаков? 2. Как формулируется закон доминирования? 3. Что такое расщепление признаков? 4. Как формулируется закон расщепления? 5. Кто сформулировал закон чистоты гамет? 6. Что такое моногибридное скрещивание? |
| 7 – 9 | 7. Почему происходит доминирование проявлений признаков? 8. Почему среди потомков наблюдается расщепление? 9. В чём суть закона чистоты гамет? |
| 10 – 12 | 10. Охарактеризуйте законы Менделя на конкретных примерах. |

*Счастлив тот, кто мог познать причины вещей.*
*Вергилий*

# § 35. ЗАКОНЫ МЕНДЕЛЯ. НЕЗАВИСИМОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ

**Основные понятия и ключевые термины:** **Дигибридное скрещивание. ЗАКОН НЕЗАВИСИМОГО НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ. Анализирующее скрещивание.**

**Вспомните!** Как формулируются I и II законы Менделя?

**Знакомьтесь!**



***Реджинальд Пеннет*** (1875–1967) – английский биолог, один из основателей генетики. Учёный стал автором «решётки Пеннета» – двухмерной таблицы, её используют для определения результатов скрещивания. Для построения решётки Пеннета в клетках по горизонтали откладывают все возможные типы гамет одного из родительских организмов, а по вертикали – другого.



## СОДЕРЖАНИЕ

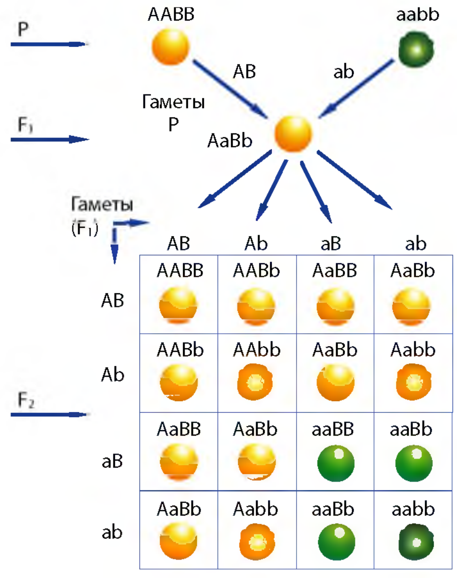
### Как происходит наследование двух признаков?

**Дигибридное скрещивание** – *это скрещивание родительских особей, которые отличаются проявлениями двух признаков.* Для изучения того, как наследуются два признака, Г. Мендель выбрал окраску семян гороха и форму горошин (*ил. 90*). Цвет семян гороха, как вы знаете, имеет два проявления – доминантное жёлтое и рецессивное зелёное. Форма семян бывает гладкой (доминантное проявление) и морщинистой (рецессивное проявление).

Далее Мендель скрестил между собой чистые линии, представители которых формировали жёлтые семена с гладкой поверхностью и зелёные с морщинистой. Гибриды первого поколения образовывали только семена жёлтого цвета с гладкой поверхностью.

А какими будут потомки гибридов второго поколения? После серии опытов оказалось, что среди них наблюдаются четыре группы в соотношении 9 : 3 : 3 : 1.

Девять частей семян были жёлтого цвета с гладкой поверхностью (315 семян), три части – жёлтого цвета с морщинистой поверхностью (101 семя), ещё три части зелёного цвета с гладкой поверхностью




| | AB | Ab | aB | ab |
|---|---|---|---|---|
| AB | AABB | AABb | AaBB | AaBb |
| Ab | AABb | AAbb | AaBb | Aabb |
| aB | AaBB | AaBb | aaBB | aaBb |
| ab | AaBb | Aabb | aaBb | aabb |

Ил. 90. Дигибридное скрещивание гороха посевного

(108 семян), а одна часть – зелёного цвета с морщинистой поверхностью (32 семени). Кроме семян, которые имели комбинации проявлений признаков, присущих родительским формам (жёлтый цвет – гладкая поверхность и зелёный цвет – морщинистая поверхность), появились ещё две группы с новыми комбинациями (жёлтый цвет – морщинистая поверхность и зелёный цвет – гладкая поверхность).

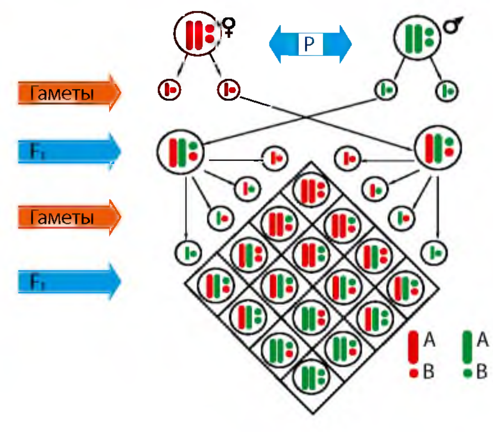
Чтобы объяснить эти результаты, Г. Мендель проследил наследование различных проявлений каждого признака отдельно. Соотношение семян разного цвета гибридов второго поколения было таким: 12 частей семян имели жёлтый цвет, а 4 – зелёный, то есть расщепление по признаку цвета, как и в случае моногибридного скрещивания, составляло 3 : 1 Подобное наблюдали и при расщеплении по признаку структуры поверхности семян: 12 частей семян имели гладкую поверхность, а 4 – морщинистую. То есть расщепление по признаку структуры поверхности семян также было 3 : 1.

Эта закономерность получила название *третьего закона Менделя, или закона независимого наследования.*

Итак, **ЗАКОН НЕЗАВИСИМОГО НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ** формулируется так: *каждая пара признаков наследуется независимо от других признаков.*

**Каковы цитогенетические основы закона независимого наследования признаков?**

Цитогенетические основы III закона Менделя можно рассмотреть с помощью решётки Пеннета. Родительские формы (Р) из чистых линий имеют признаки: жёлтые гладкие (AABB) и зелёные морщинистые (aabb). В цветках путём мейоза образуются гаметы (AB) и (ab) с гаплоидным набором хромосом. При оплодотворении гаметы образуют диплоидные гетерозиготы (AaBb), из которых развиваются гибридные растения ($F_1$) с жёлтыми и гладкими горошинами. При скрещивании или самоопылении гибридов ($F_1$) уже будут образовываться по четыре типа гамет (G) – AB, Ab, aB и ab. Поэтому среди гибридов второго поколения ($F_2$) возможны 16 комбинаций гамет, образующихся путём независимого расхождения гомологичных хромосом во время мейоза (*ил. 91*).




Ил. 91. Цитогенетические основы III закона Менделя

Очень важно понять, что хромосомы каждой пары осуществляют этот процесс независимо от других пар. В результате хромосомы, полученные от отца и матери, перераспределяются по гаметам случайно. При этом в гаметах образуются новые сочетания хромосом, отличные от тех, что существовали в родительских гаметах. Происходит **рекомбинация признаков** – *процесс, приводящий к возникновению новых сочетаний проявлений признаков и увеличению генетического разнообразия.*

Сочетание одинаковых генотипов даёт такое соотношение по генотипу: 1 : 1 : 2 : 2 : 4 : 2 : 2 : 1 : 1, а статистическая обработка результатов по внешним проявлениям признаков – соотношение по фенотипу – 9 : 3 : 3 : 1. При условии полного доминирования доминантных аллелей над соответствующими рецессивными жёлтые семена с гладкой поверхностью будут определяться четырьмя вариантами генотипа (AABB, AaBb, аавв, AaBb), жёлтые с морщинистой – двумя (aabb, aabb), зелёные с гладкой – также двумя (aaBB, AaBb), а зелёные с морщинистой – одним (aabb).

**Генетическая схема дигибридного скрещивания**

| *Дано:*<br>A – жёлтая окраска семян<br>a – зелёная окраска семян<br>B – гладкая форма семян<br>b – морщинистая форма семян<br><br>$F_1$ – ? | **P** AABB × aabb<br>**G** (AB) (ab)<br>**$F_1$** AaBb × aabb<br>(AB) (Ab) (aB) (ab) (AB) (Ab) (aB) (ab) |
|---|---|

Соотношение по генотипу $(1+2+1)^2$:
1AABB : 2AaBB : 1aaBB
2AABb : 4AaBb : 2aaBb
1AAbb : 2Aabb : 1aabb
Соотношение по фенотипу $(3+1)^2$:
9A-B- : 3A-bb : 3 aaB- : 1aabb

| | | **AB** | **Ab** | **aB** | **ab** |
|---|---|---|---|---|---|
| | **AB** | AABB | AABb | AaBB | AaBb |
| $F_2$ | **Ab** | AABb | AAbb | AaBb | Aabb |
| | **aB** | AaBB | AaBb | aaBB | aaBb |
| | **ab** | AaBb | Aabb | aaBb | aabb |

Итак, при дигибридном скрещивании разнообразие потомков достигается разнообразием гамет и комбинаций гамет, возникающих вследствие случайного и независимого расхождения гомологичных хромосом.

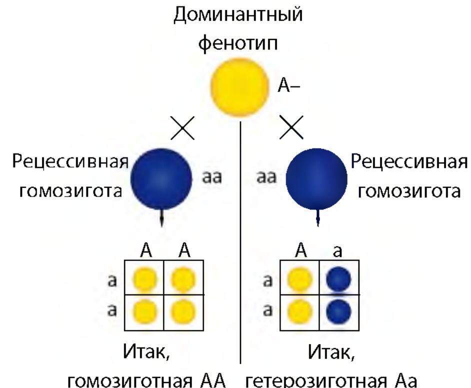
## В чём суть анализирующего скрещивания?

Для определения и проверки генотипов гибридных особей особенно важны анализирующие скрещивания.

**Анализирующее скрещивание** – *это скрещивание гибрида с неизвестным генотипом (или AA, или Aa) с рецессивной гомозиготой, генотип которой всегда (aa) (ил. 92).*

*I вариант.* Если при скрещивании особей с доминантным признаком (A⁻) с рецессивной гомозиготной (aa) особью всё потомство окажется одинаковым, значит анализируемая особь с доминантным признаком гомозиготная (AA).

*II вариант.* Если при скрещивании особей с доминантным признаком (A⁻) с рецессивной гомозиготой (aa) полученное потомство даёт расщепление 1 : 1, то исследуемая особь с доминантным признаком гетерозиготная (Aa).




Ил. 92. Схема анализирующего скрещивания

Итак, анализирующее скрещивание позволяет определить генотип гибридов, типы гамет и их соотношение.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Практическая работа № 3(Б)
### СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ДИГИБРИДНОГО СКРЕЩИВАНИЯ

**Цель:** закрепляем знания III закона Менделя; формируем умение составлять схемы скрещивания особей.

**Решение упражнений**

**Упражнение 1.** Какие типы гамет образуют организмы с такими генотипами: а) ААВВ; б) аавв; в) ааВВ; г) АаBb; д) aabb; е) AaBb?

**Упражнение 2.** У томатов нормальная высота (А) и красный цвет плодов (В) – доминантные признаки, а карликовость и желтоплодность – рецессивные. Какие плоды будут у растений, полученных в результате скрещивания: а) aabb × aaBB; б) AaBb × aabb; в) AaBb × aabb?

**Упражнение 3.** У человека кареглазие и наличие веснушек – доминантные признаки. Кареглазый без веснушек мужчина женится на голубоглазой женщине с веснушками. Определите, какими у них будут дети, если человек гетерозиготный по признаку кареглазости, а женщина гетерозиготна по признаку веснушек.

**Упражнение 4.** У тыквы белая окраска плодов доминирует над жёлтой, а круглая форма – над удлинённой. Каким будет расщепление по фенотипу при дигибридном скрещивании родительских особей с генотипами аавв × AaBb?

**Упражнение 5.** Длинношерстного чёрного самца морской свинки скрестили с чёрной короткошерстной самкой. Получено 15 свинок с короткой чёрной шерстью, 13 – с длинной чёрной, 4 – с короткой белой, 5 – с длинной белой. Определите генотипы родителей, если черная и длинная шерсть являются доминирующими проявлениями признаков.



## ОТНОШЕНИЕ

**Биология + Алгебра**

Для решения упражнений в алгебре достаточно часто используют формулы сокращённого умножения. Многие из них являются частными случаями бинома Ньютона. Что такое бином Ньютона? Чему равен квадрат суммы двух выражений и как его применяют при наследовании признаков?





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое дигибридное скрещивание? 2. Сформулируйте III закон Менделя. 3. Что такое рекомбинация признаков? 4. Сколько типов гамет образуют гибриды второго поколения являясь дигетерозиготами? 5. Что такое анализирующее скрещивание? 6. Каково значение анализирующего скрещивания в генетике? |
| 7 – 9 | 7. Как происходит наследование двух признаков? 8. Каковы цитогенетические основы закона независимого наследования признаков? 9. В чём суть анализирующего скрещивания? |
| 10 – 12 | 10. В каких отраслях деятельности знание законов Менделя имеет особое значение? |

*Генотип – целостная система взаимодействующих аллельных и неаллельных генов.*
*С. Межжерин*

# § 36. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ

**Основные понятия и ключевые термины: ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ. Взаимодействие аллельных генов. Взаимодействие неаллельных генов.**

**Вспомните!** Что такое гены?

**Подумайте!**

В Психологической энциклопедии взаимодействие определяется как прямое или опосредствованное влияние субъектов друг на друга, характеризующееся возникновением связей и их взаимообусловленностью. Исследованиями установлено существование таких видов взаимодействия, как содружество, конкуренция и конфликт. А каковы особенности взаимодействия генов в генотипе?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы особенности взаимодействия генов?

Наследование признаков не всегда является простым и понятным, как это объясняют закономерности Менделя. Вспомним, что основным постулатом менделевских скрещиваний является то, что каждый признак определяется своим геном. В действительности всё гораздо сложнее. Например, современные исследования учёных указывают на то, что в наследовании цвета глаз у человека участвуют минимум шесть генов. Их взаимодействие обусловлено наличием, количества и плотности распределения форм меланина в клетках радужной оболочки, что и определяет коричневый, зелёный и голубой – основные цвета и их оттенки.

Под взаимодействием генов понимают не взаимовлияния генов на активность друг друга (эту функцию осуществляют регуляторные гены), а их совместное участие в формировании признака. Молекулярные механизмы взаимодействия генов заключаются в том, что развитие каких-либо признаков у организмов является следствием сложного взаимодействия между функциональными продуктами деятельности генов – белками и РНК. Эти соединения участвуют в одних и тех же клеточных биохимических процессах, влияющих на формирование признака. Таким образом, взаимодействие генов – это взаимодействие их продуктов деятельности в цитоплазме клеток.

**Виды взаимодействия генов**

| Взаимодействие аллельных генов | Взаимодействие неаллельных генов |
|---|---|
| Полное доминирование | Комплементарность |
| Неполное доминирование | Полимерия |
| Множественный аллелизм | Множественное действие генов |

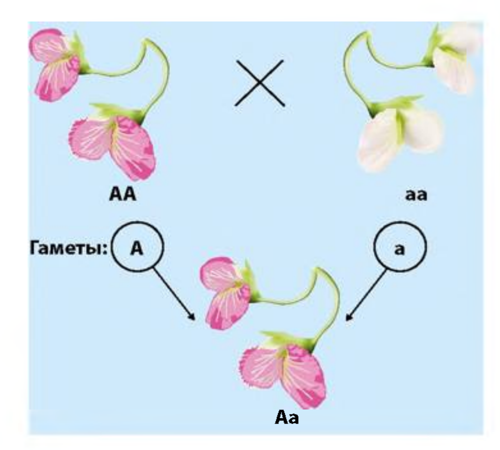
Генотип особей является целостной системой, хотя и состоит из отдельных генов. В этой исторически сложившейся системе выделяют два основных типа взаимодействия генов: взаимодействие аллельных и взаимодействие неаллельных генов.

Итак, **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ** – взаимное влияние аллельных генов с участием функциональных продуктов, особенности которых и определяют разные виды наследования признаков.

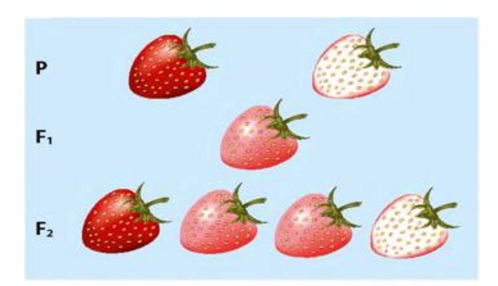
### Как происходит взаимодействие аллельных генов?

**Взаимодействие аллельных генов** – *это взаимное влияние генов, которые занимают подобные локусы в гомологичных хромосомах*.

Основной формой взаимодействия аллельных генов является **полное доминирование**, которое впервые описано Г. Менделем. Полное доминирование – *это форма взаимодействия аллельных генов, при котором у гетерозиготного организма* (*Аа*) *доминантный аллель* (*А*) *полностью подавляет действие рецессивного* (*а*). В результате такого воздействия у гетерозигот наблюдается доминантное проявление признака (*ил. 93*). Примером этой формы взаимодействия является наследование окраски семян гороха, роста человека (низкий рост – доминантное проявление, высокий – рецессивное).




Ил. 93. Наследование окраски цветов гороха по типу полного доминирования




Ил. 94. Наследование окраски плодов земляники по типу неполного доминирования

***Неполное доминирование*** – *это форма взаимодействия аллельных генов, при которой у гетерозиготного организма* (Āа) *доминантный аллель* (Ā) *полностью не подавляет рецессивный аллель* (а), *вследствие чего проявляется промежуточное состояние признака*. При неполном доминировании расщепление по генотипу и фенотипу совпадает и составляет 1 : 2 : 1 (*ил. 94*). Примерами признаков, наследуемых по неполному доминированию, являются: форма человеческого волоса (вьющиеся, волнистые и прямые), окраска перьев кур (чёрная, пёстрая и белая), окраска плодов земляники (красная, розовая и белая) и др.

**Таблиця 9. ГЕНОТИПЫ ЧЕЛОВЕКА С РАЗНЫМИ ГРУППАМИ КРОВИ ПО СИСТЕМЕ АВ0**

| Группа крови | Генотип |
|---|---|
| I (0) | $i^0 i^0$ |
| II (A) | $I^A I^A$ или $I^A i^0$ |
| III (B) | $I^B I^B$ или $I^B i^0$ |
| IV (AB) | $I^A I^B$ (кодоминирование) |

***Множественный аллелизм*** – *это явление, при котором признак в популяции определяется не двумя, а несколькими аллелями*. Множественные аллели возникают вследствие мутации одного гена у разных особей. Начальное нормальное состояние гена обозначается как «дикий тип». Так, у человека три аллельных гена (их обозначают $i^0$, $I^A$, $I^B$) в различных сочетаниях определяют 4 группы крови по системе АВ0 (*табл. 9*). Серии множественных аллелей определяют также окраску меха у лисиц, кроликов, гвинейских свинок, кошек, цвет глаз у дрозофилы и др.

Итак, основными формами взаимодействия аллельных генов является полное доминирование, неполное доминирование и множественный аллелизм.

## Как происходит взаимодействие неаллельных генов?

**Взаимодействие неаллельных генов** – *это взаимное влияние генов, расположенных в различных неидентичных участках гомологичных хромосом.*

**Комплементарность** – *это форма взаимодействия нескольких доминантных неаллельных генов, которые вместе определяют развитие нового проявления признака.* По этому виду взаимодействия признак будет развиваться вследствие взаимодействия белков, образовавшихся под контролем двух неаллельных генов. Так, у волнистых попугаев взаимодействие доминантных генов жёлтой (А) и синей (В) окраски определяет зелёную окраску (АВ) (*ил. 95*). По типу комплементарного взаимодействия наследуются цвет шерсти у кроликов, форма гребня у кур, синтез защитных белков-интерферонов и развитие нормального слуха (при наличии двух доминантных генов) у человека и др.





Ил. 95. Комплементарное взаимодействие генов у волнистых попугаев

**Полимерия** – *это форма взаимодействия неаллельных генов, при которой несколько доминантных неаллельных генов влияют на степень развития признака.* Неаллельные гены, одновременно действующие на формирование одного и того же признака, называют полимерными. Так, цвет кожи у человека определяется шестью полимерными генами. У коренных жителей Африки преобладают доминантные аллели чёрного цвета, у представителей европеоидной расы – рецессивные аллели белого цвета (*ил. 96*). Полимерное взаимодействие генов определяет также урожайность пшеницы, сахаристость свёклы, яйценоскость кур, количество и жирность молока крупного рогатого скота, артериальное давление человека, содержание витаминов в плодах и др.



Ил. 96. Полимерное наследование цвета кожи у человека

**Множественное действие генов (плейотропия)** – *это влияние одного гена на проявление различных признаков.* Так, у человека один ген определяет рыжий цвет волос, светлый цвет кожи и наличие веснушек (*ил. 97*). Причиной плейотропии может быть также участие продукта одного гена в нескольких биохимических реакциях. Например: красные цветы сопровождаются у некоторых видов растений красноватым стеблем, у сортов с белыми цветами – стебли зелёные, у дрозофил отсутствие пигмента в глазах приводит к окраске органов, снижает плодовитость и продолжительность жизни и др.



Ил. 97. Множественное действие гена у человека

Итак, основными формами взаимодействия неаллельных генов являются комплементарность, полимерия и множественное действие генов.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Примените знания и определите характер наследования приведённых наследственных признаков человека.

| Признак | Проявления признака | Вид взаимодействия генов |
|---|---|---|
| Рост | Низкий рост (доминантный ген), высокий (рецессивный) | |
| Форма волос | Вьющиеся – доминантное проявление, прямые – рецессивное проявление, волнистые (промежуточное проявление) | |
| Группы крови по системе АВ0 | Наличие антигенов (доминантные гены), их отсутствие (рецессивный) | |
| Цвет кожи | Чёрный цвет – доминантные проявления, белый – рецессивные | |
| Слух | Нормальный слух при наличии двух доминантных генов, глухонемота – при отсутствии одного или обоих | |

### Решение упражнений

**Упражнение 1.** Какими могут быть дети от брака мужчины и женщины с волнистыми волосами, если вьющиеся волосы – доминантное проявление признака, а прямые – рецессивное?

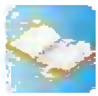
**Упражнение 2.** У матери I группа крови, а у отца – IV. Могут ли дети унаследовать группу крови одного из родителей?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Практика

Цвет глаз – очень интересная тема, которой занимались исследователи на протяжении веков. Практически всегда глаза новорождённых имеют именно голубой цвет, который впоследствии темнеет по мере воздействия на него солнечного света. Примерно к трём-четырём годам глаза ребенка обычно приобретают постоянный, остающийся на всю жизнь, цвет, будь он голубым, зелёным, коричневым, янтарным, серым, фиолетовым и даже красным. Примените статистический метод, проведите исследования и определите частоту встречаемости (в процентах) проявлений цвета глаз в разных классах вашей школы.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое взаимодействие генов? 2. Назовите основные типы взаимодействия генов. 3. Что такое взаимодействие аллельных генов? 4. Назовите основные формы взаимодействия аллельных генов. |
| 7 – 9 | 5. Что такое взаимодействие неаллельных генов? 6. Приведите примеры взаимодействия неаллельных генов. 7. Каковы особенности взаимодействия генов? 8. Как происходит взаимодействие аллельных генов? 9. Как происходит взаимодействие неаллельных генов? |
| 10 – 12 | 10. Примените знания генетики и на конкретном примере объясните особенности взаимодействия генов в генотипе. |

*Ни одно живое существо не дало человечеству столько открытий, как маленькая плодовая мушка дрозофила.*

*Из журнала «Станиславский натуралист»*

# § 37. СЦЕПЛЕНИЕ ГЕНОВ. КРОССИНГОВЕР

**Основные понятия и ключевые термины: СЦЕПЛЕНИЕ ГЕНОВ. Закон сцепленного наследования. КРОССИНГОВЕР. Хромосомная теория наследственности.**

**Вспомните!** Что такое закон наследования генов?

## Знакомьтесь!



Впервые сцепление генов открыли в 1906 г. английские генетики ***В. Бэтсон*** и ***Р. Пеннет***. Они изучали дигибридное скрещивание у горошка душистого (*Lathyrus odoratus*) и обнаружили отклонения от закона независимого наследования генов. Что же такое сцепление генов?



## СОДЕРЖАНИЕ

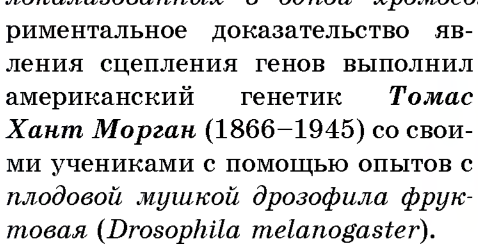
### Как Т. Морган экспериментально доказал сцепление генов?

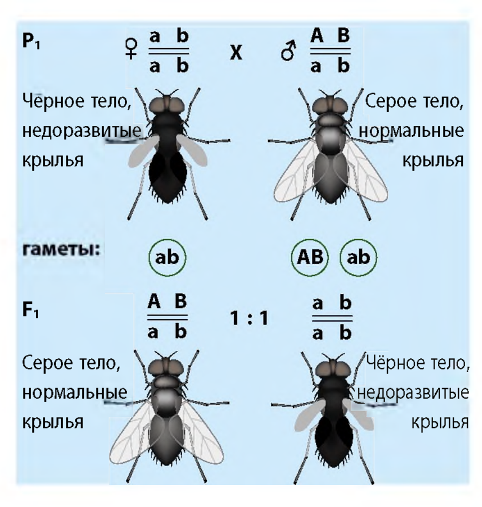
Учёные уже давно обратили внимание на то, что количество наследственных признаков организмов значительно превышает количество их хромосом в гаплоидном наборе. Итак, в каждой хромосоме имеется не один, а много генов. Эти гены наследуются сцепленно друг с другом, образуя группу сцепления.



Ил. 98. Т. Х. Морган в своей лаборатории (*Fly Room*)

СЦЕПЛЕНИЕ ГЕНОВ – *это явление общего расположения и наследования генов, локализованных в одной хромосоме*. Экспериментальное доказательство явления сцепления генов выполнил американский генетик ***Томас Хант Морган*** (1866–1945) со своими учениками с помощью опытов с *плодовой мушкой дрозофила фруктовая* (*Drosophila melanogaster*).






Ил. 99. Сцепленное наследование с полным сцеплением генов

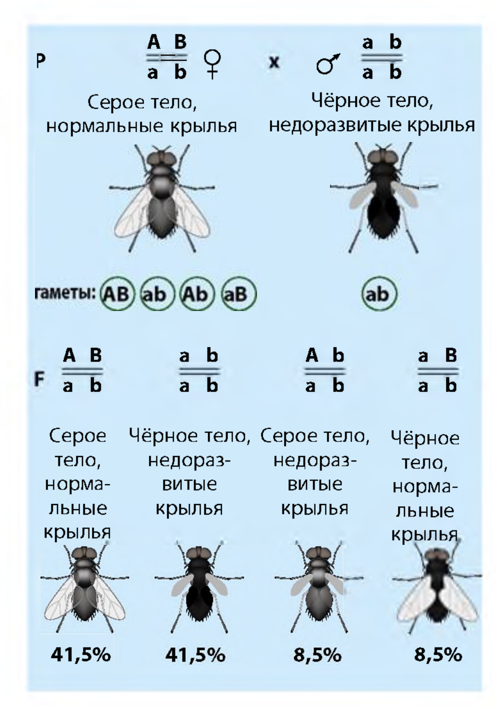
В чём суть этих опытов? Самцов дрозофилы, гомозиготных по доминантным аллелям серого тела (А) и нормальными крыльями (В), скрестили с самками, гомозиготными по соответствующим рецессивными аллелями чёрного тела (а) и недоразвитых крыльев (b) (*ил. 99*). Генотипы этих особей обозначили соответственно ААВВ и aabb. Все гибриды первого поколения

имели серое тело и нормальные крылья, то есть были гетерозиготными по обеим парам аллелей (генотип AaBb). От анализирующего скрещивания дигетерозиготной особи-самца (AaBb) с рецессивной дигомозиготой (aabb) получено лишь две группы потомков! По полученным результатам Т. Морган предположил, что гены окраски тела и формы крыльев содержатся в одной хромосоме. Поэтому образуются два типа гамет и в сочетании с гаметами одного типа самки появляются только две группы особей с такими же фенотипами, что и у родителей. То есть наблюдается сцепленное наследование с полным сцеплением генов.

Итак, **закон сцепленного наследования** (закон Моргана, 1911) формулируется так: сцепленные гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются вместе и не проявляют независимого распределения.

### Какое значение имеет кроссинговер при неполном сцеплении генов?

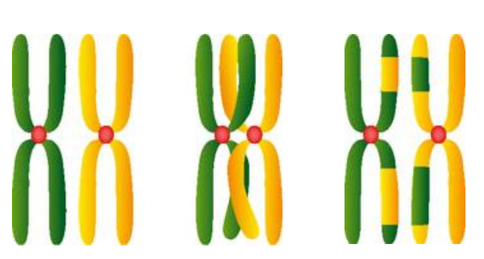
А какими будут результаты от анализирующего скрещивания дигетерозиготной особи-самки ($\frac{AB}{ab}$) с рецессивным дигомозиготным ($\frac{ab}{ab}$) самцом? Обратите внимание на запись генотипов в случае сцепленного наследования.



Ил. 100. Сцепленное наследование с неполным сцеплением генов

В этих опытах Т. Морган получил, кроме двух групп, подобных родительским (по 41,5 %), ещё две группы особей (по 8,5 %), которые имели «перекрещённые» комбинации признаков. На основании этих данных Т. Морган предположил, что гены, определяющие окраску тела и форму крыльев, находятся в одной хромосоме, но в процессе мейоза при образовании гамет гомологичные хромосомы могут обмениваться участками, т. е. имеет место перекрещивание хромосом, или кроссинговер. В этом случае происходит сцепленное наследование с неполным сцеплением генов (*ил. 100*).

**КРОССИНГОВЕР** – *процесс, при котором гомологичные хромосомы обмениваются определёнными участками*. Перекрещивание хромосом приводит к изменению наследственной информации и является важнейшим механизмом наследственной изменчивости


Ил. 101. Кроссинговер является механизмом рекомбинации наследственной информации

(*ил. 101*). Кроссинговер наблюдается в профазе мейоза I после слияния гомологичных хромосом (*конъюгации*) и имеет случайный характер. Хотя частота кроссинговера – величина постоянная, на неё могут оказывать влияние пол, возраст, температура, рентгеновские лучи, некоторые химические соединения и др.

Итак, сцепление генов благодаря кроссинговеру может быть неполным, что обеспечивает наследственное разнообразие потомков.

### Каково значение хромосомной теории наследственности?

Хромосомная теория наследственности возникла на основе клеточной теории в начале XX в. Впервые была обоснована Т. Бовери и В. Сеттоном, детально разработанна Т.Х. Морганом и его сотрудниками (Г.Дж. Меллером, А. Стертевантом). Реальность кроссинговера была доказана в 1933 г. К. Штерном в опытах с дрозофилами.

Основные положения современной хромосомной теории наследственности таковы.

- Гены расположены в хромосомах. Различные хромосомы содержат неодинаковое количество генов.
- Каждый ген занимает определённое место в хромосоме.
- Аллельные гены занимают одинаковые локусы гомологичных хромосом.
- Гены расположены вдоль хромосом в линейном порядке.
- Все гены одной хромосомы образуют группу сцепления. Число групп сцепления равно гаплоидному наборе хромосом.
- Сцепление между генами в хромосоме нарушается вследствие кроссинговера, из-за чего происходит обмен аллельными генами.
- Сила сцепления между двумя генами обратно пропорциональна расстоянию между ними.

Значение хромосомной теории наследственности для развития биологии заключается в том, что установлена материальная основа законов наследственности, за генами закреплена роль элементарных единиц наследственности, установлено отклонение при сцепленном наследовании генов.

Итак, **хромосомная теория наследственности** – это обобщение научных знаний, согласно которому хромосомы являются материальной основой наследственности.



**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**

**Практическое упражнение**

**Определение расстояния между генами и частоты кроссинговера**

За единицу расстояния между генами принято *1 морганиду*, равную *1% кроссинговера*. Расстояние между генами вычисляют по формуле:

$$L_{AB} = \frac{m+n}{100} \cdot 100\%,$$

где $L_{AB}$ – расстояние между генами; $m$ и $n$ – количество особей в каждой кроссоверной группе потомков; $N$ – общее количество некроссоверных (их всегда больше) и кроссоверных (их всегда меньше) потомков при скрещивании. Используйте эту формулу для решения упражнения.

*Серая окраска тела доминирует над чёрной, а нормальное строение крыльев – над зачаточными крыльями. В результате скрещивания дигетерозиготных самок с самцами, которые имеют чёрное тело и недоразвитые крылья, в потомстве получили таких мушек: 1394 – серых с нормальными крыльями, 1418 – чёрных с зачаточными крыльями, 288 – серых с зачаточными крыльями и 287 – чёрных с нормальными крыльями. Определите расстояние между генами.*

**Биология + Физика**

В современной генетике учёные уже могут видеть отдельные гены в хромосомах. Для этого ген выделяют из хромосомы, с помощью флуоресцентных красителей окрашивают и возвращают на своё место. Ген располагается в хромосоме, а краситель позволяет увидеть в микроскопе, где именно находятся гены. Что такое флуоресценция и каково её значение в биологических исследованиях?



Хромосома под флуоресцентным микроскопом



## ОТНОШЕНИЕ

**Биология + Модельные организмы**

Дрозофила фруктовая имеет быструю смену поколений, высокую плодовитость (самки откладывают до 100 яиц в день), четыре пары хромосом: три пары аутосом и одну пару половых хромосом. Уход за этими плодовыми мухами требует минимум оснащения и немного места. Всё это делает дрозофилу идеальным модельным организмом для исследований по генетике, физиологии, эволюции, иммунологии, медицине. Какие же открытия были осуществлены с помощью мушки дрозофилы? Подготовьте письменное сообщение о значении этих открытий.



Дрозофила фруктовая (*Drosophila melanogaster*)



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое сцепление генов? 2. Как формулируется закон сцепленного наследования? 3. Назовите типы сцепления генов. 4. Что такое кроссинговер? 5. Что такое хромосомная теория наследственности? 6. Назовите положения современной хромосомной теории наследственности. |
| 7 – 9 | 7. Как Т. Морган экспериментально доказал сцепление генов? 8. Какое значение имеет кроссинговер при неполном сцеплении генов? 9. Каково значение хромосомной теории наследственности? |
| 10 – 12 | 10. Докажите значение знаний о сцеплении генов для науки и практики. |

*Половое размножение – свидетельство мудрости природы.*
*Детская энциклопедия*

# § 38. ГЕНЕТИКА ПОЛА. НАСЛЕДОВАНИЕ, СЦЕПЛЕННОЕ С ПОЛОМ

**Основные понятия и ключевые термины: Наследование, сцепленное с полом.**

**Вспомните!** Что такое хромосомы?

**Новости науки**

На материале различных видов энотеры канадские учёные доказали одну из важнейших гипотез биологии: половое размножение лучше бесполого, так как у организмов, которые размножаются половым путём, бо́льшая выносливость: со временем у их потомков не накапливаются вредные мутации. Результаты исследования представлены в журнале *Molecular Biology and Evolution*.





## СОДЕРЖАНИЕ

### Какие признаки определяют пол?

Половые признаки могут быть морфологическими, физиологическими, биохимическими, поведенческими и т. д., но все они определяются генами. Признаки пола разделяют на первичные и вторичные. ***Первичными половыми признаками*** являются признаки, определяющие наличие и строение репродуктивных органов, участвующих в гаметогенезе и оплодотворении (например, пестик цветочных или яичники млекопитающих). Эти признаки формируются в эмбриогенезе. ***Вторичные половые признаки*** отличают один пол от другого и не участвуют в воспроизведении. Они зависят от первичных признаков, развиваются под действием гормонов и появляются у организмов в период полового созревания (например, особенности строения тела мужчин и женщин, перьевой покров самцов и самок фазанов) (*ил. 102*).



Ил. 102. Вторичные половые признаки самки и самца фазана

Развитие половых признаков в онтогенезе является сложным процессом, происходящим под действием факторов среды и большого количества генов. Гены, определяющие половые признаки, расположены в половых хромосомах и аутосомах:

1) гены половых хромосом, ***определяющие признаки, сцепленные с полом*** (например, гемофилия и дальтонизм у человека, цвет глаз у дрозофилы);
2) гены аутосом, проявляющиеся только у одного из полов (например, яйце-




Ил. 103. Половые хромосомы человека (X и Y) под электронным микроскопом

носкость птиц, размеры молочных желёз) или у представителей обоих полов (например, рост волос у человека).

У большинства организмов пол определяется генами **половых хромосом** (*ил. 103*). Для обозначения этих хромосом используют буквы X, Y, Z и W. Отсутствие половой хромосомы обозначается цифрой 0. Пол, который производит гаметы, которые не отличаются по половым хромосомам, называется *гомогаметным* (XX, ZZ), а пол, в которой гаметы отличаются, – *гетерогаметным* (XY, Z0).

Итак, пол характеризуется совокупностью признаков, определяемых генами, расположенными в половых хромосомах и аутосомах.

### Как определяется пол при развитии организмов?

Существует три основных типа определения пола по временной организации: до оплодотворения, в момент оплодотворения и после оплодотворения.

Определение пола *до оплодотворения*, как правило, происходит в результате неодинакового распределения питательных веществ между яйцеклетками. Из бедных питательными веществами яйцеклеток развиваются самцы, а из богатых – самки (например, у коловраток и тлей).

Определение пола *после оплодотворения* связано с влиянием факторов внешней среды. Так, у крокодилов, черепах из отложенных яиц самцы и самки вылупляются в зависимости от температуры среды.

У большинства раздельнополых организмов пол будущей особи определяется в *момент оплодотворения* и зависит от того, сколько и какие из половых хромосом объединяются в зиготе.

В органическом мире существуют различные типы хромосомного определения пола:

1) XX – женский пол; XY – мужской пол (например, млекопитающие, амфибии, двукрылые насекомые);
2) XX – женский пол; X0 – мужской пол (тараканы, прямокрылые);
3) ZZ – мужской пол; ZW – женский пол (например, птицы, рептилии);
4) ZZ – женский пол; Z0 – мужской пол (например, пчёлы, моль).

Диплоидный набор хромосом организмов, которые размножаются половым путём, содержит аутосомы (хромосомы, одинаковые у особей разного пола) и гоносомы, или половые хромосомы (неодинаковые хромосомы особей разного пола). Так, у человека общее количество хромосом равно $2n = 46$, среди которых имеются 44 аутосомы и 2 половые хромосомы (44A + XX – женский пол, 44A + XY – мужской пол).

Начальный этап определения пола – влияние на яйцеклетку, зиготу или особь ***пол-детерминирующих факторов***. Это могут быть как факторы среды (температура, количество питательных веществ в яйцеклетке), так и генетические (наличие в зиготе генов, определяющих пол). Действие пол-детерминирующего фактора обусловливает экспрессию соответствующего ***ключевого гена***, влияющего на активность других генов. Так, у млекопитающих ключевой ген – ген *TDF* / *SRY* (*Testis Determining Factor* / *Sex determining Region Y gene*),

расположенный в Y-хромосоме. Этот ген, в свою очередь, активирует ***гормоны***, влияющие на гены, определяющие пол, а затем и на ***факторы дифференциации*** половых признаков.

Следовательно, формирование пола у организмов определяется генотипом и условиями среды.

### Каковы особенности наследования, сцепленного с полом?

**Наследование, сцепленное с полом,** – *это наследование признаков, гены которых расположены в половых хромосомах*. Этот вид сцепленного наследования открыл Т. Морган в 1910 г., исследуя наследование цвета глаз у дрозофилы. Примеры признаков, сцепленных с полом: а) признаки, наследуемые через X-хромосому, – гемофилия, дальтонизм, цвет эмали зубов у человека, цвет шерсти у кошек и т. д. (*ил. 104*); б) признаки, наследуемые через Y-хромосому – оволосение ушных раковин (гипертрихоз), роговые чешуйки на коже (ихтиоз) у человека и др.

Наследование признаков, сцепленных с полом, имеет свои определённые особенности, отличающие его от других типов наследования:

- признаки, гены которых локализованы в X-хромосоме, наследуются представителями и женского, и мужского пола;
- если рецессивный аллельный ген сцеплен с X-хромосомой, то у женского пола он проявляется только в гомозиготном состоянии, а у мужского – в гемизиготном (состояние зиготы, в котором определённый ген представлен только одним геном);
- признаки, сцепленные с Y-хромосомой, наследуются только представителями мужского пола и называются голандрическими.




Ил. 104. Наследование окраски шерсти у кошек, сцепленное с полом

Рассмотрим для примера наследование дальтонизма. Установлено, что это проявление признака определяет рецессивный аллель, локализованный в X-хромосоме. Если человек дальтоник ($X^dY$) женится на гомозиготной женщине с нормальным цветовым зрением ($X^DX^D$), то вероятность появления дальтонизма среди потомков равна нулю. Как видно из схемы скрещивания, все потомки по фенотипу будут иметь нормальное цветовое зрение, но дочери будут носителями рецессивного аллеля.

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Дано:*<br>$X^D$ – нормальное цветовое зрение<br>$X^d$ – дальтонизм | **P** | $X^DX^D$ × $X^dY$ | |
| | **G** | $(X^D)$ | $(X^d)$ $(Y)$ |
| $F_1$ – ? | **$F_1$** | $1X^DX^d$ : $1X^DY$ | |

Итак, наследование, сцепленное с полом, имеет особенности, определяемые расположением генов в половых хромосомах.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Генетика пола – это раздел генетики, изучающий роль наследственности и изменчивости в определении пола организмов. С помощью таблицы определите особенности определения пола у человека.

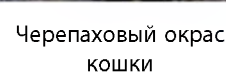
**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛА У ЧЕЛОВЕКА**

| Вопросы | Ответы |
|---|---|
| Какие типы гамет образует женский пол? | |
| Какие типы гамет образует мужской пол? | |
| Когда определяется пол? | |
| Каков набор хромосом женского пола? | |
| Каков набор хромосом мужского пола? | |
| Примеры признаков, которые наследуются сцепленно с X-хромосомой | |
| Примеры признаков, которые наследуются сцепленно с Y-хромосомой | |

### Практическое упражнение

У кошек рыжий окрас шерсти доминирует над чёрным. Гетерозиготы имеют черепаховый окрас. Ген окраски сцеплен с полом (X-хромосома). Какими могут быть потомки, если: а) кот чёрный, а кошка – рыжая; б) кот чёрный, а кошка – черепаховая; в) кот рыжий, а кошка – чёрная?





Черепаховый окрас кошки

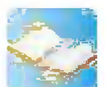


## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Наука

Английский физик и химик ***Джон Дальтон*** (1766–1844) не знал о своей цветовой слепоте до 26 лет. У него было три брата и сестра, и двое из братьев страдали от этой самой болезни. Только после того, как в 1790 г. Дальтон увлёкся биологией, стало ясно, что речь идёт о наследственном заболевании. Оцените важность генетического консультирования и генетических знаний для оценки наследственных признаков в современных семьях и планирования семьи.





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое пол? 2. Какие признаки являются половыми? 3. Назовите три основных типа определения пола. 4. Какие вы знаете типы хромосомного определения пола? 5. Что такое сцепленное с полом наследование признаков? 6. Приведите примеры сцепленного с полом наследования признаков. |
| 7 – 9 | 7. Какие гены определяют половые признаки? 8. Как определяется пол во время развития организмов? 9. Каковы особенности наследования, сцепленного с полом? |
| 10 – 12 | 10. На конкретном примере охарактеризуйте наследование, сцепленное с полом. |

*Vita varia est (Жизнь изменчива)*
*Латинская пословица*

# § 39. ИЗМЕНЧИВОСТЬ. МОДИФИКАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

**Основные понятия и ключевые термины:** **ИЗМЕНЧИВОСТЬ. МОДИФИКАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ.**

**Вспомните!** Что такое генотип и фенотип?

**Подумайте!**



*«Зима была уже над носом, и Японец Мали выставил клетку кошки на улицу, защитив её только от дождя и ветра. Он начал кормить кошку вволю жмыхом и рыбьими головами. Клетка содержалась в чистоте, и так как природа, откликаясь на холодную погоду и маслянистую пищу, делала кошачью шубку с каждым днём все роскошнее и блестящей, к середине зимы захолустная кошка превратилась в кошку редкой красоты, с прекрасной, пушистой шерстью, разрисованной прекрасными полосами ... »* (Э. Сетон-Томпсон. Королевская Аналостанка). О каком свойстве живого говорится?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы формы изменчивости?

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ** – *способность организмов приобретать новые признаки, обусловливающие различия между особями в пределах вида.* Причинами изменчивости являются изменения структуры или деятельности генетического аппарата и влияние условий среды. В зависимости от природы изменчивости различают две основные её формы: наследственную и ненаследственную. Первая из них связана с изменением генотипа, вторая – фенотипа (*табл. 10*).

**Таблица 10. ФОРМЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ**

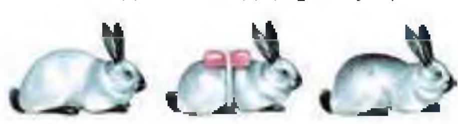
| **Ненаследственная, или фенотипическая** (возникает без изменений генотипа и не сохраняется в случае полового размножения) | **Наследственная, или генотипическая** (связанная с изменением генотипа и поэтому сохраняется в поколениях) | |
|---|---|---|
| **Модификационная** (фенотип изменяется под воздействием определённых условий существования организмов) | **Мутационная** (изменяется генотип вследствие мутаций) | **Комбинационная** (генотип изменяется вследствие образования новых комбинаций генов) |

Наследственная и ненаследственная изменчивость обеспечивают всё разнообразие морфологических, физиологических и этологических особенностей организмов. Роль форм изменчивости в эволюции органического мира различна. С наследственной изменчивостью связано появление новых признаков и их комбинирование у организмов, а ненаследственная – обеспечивает приспособление организмов к изменяющимся условиям среды.

Итак, изменчивость связана с изменениями генотипа и фенотипа, поэтому выделяют наследственную и ненаследственную её формы.

## Каковы свойства модификационной изменчивости?

МОДИФИКАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ – *это форма ненаследственной изменчивости, связанная с изменениями фенотипа вследствие влияния условий существования.* Модификационная изменчивость бывает у всех организмов независимо от видовой принадлежности. Сравнение цветочных растений одного вида, растущих в разных условиях (в тени, на солнечных местах, в горах или на равнинах), позволяет заметить отличия в размерах и форме листьев, количестве цветов, массе плодов (*ил. 106*). У животных модификации проявляются изменением окраски, размеров, массы тела и т.п.



Ил. 105. Изменение окраски шерсти гималайского кролика под действием температуры

Модификационные изменения признаков не наследуются, но их диапазон изменчивости является наследственным и определяется генотипом. Возникновение модификаций – результат изменения деятельности генов в разных условиях среды. Этим, в частности, объясняется улучшение шерсти королевской аналостанки и изменение окраски шерсти гималайского кролика (*ил. 105*).



Ил. 106. Стрелолист обычный с наводными, плавающими и подводными листьями

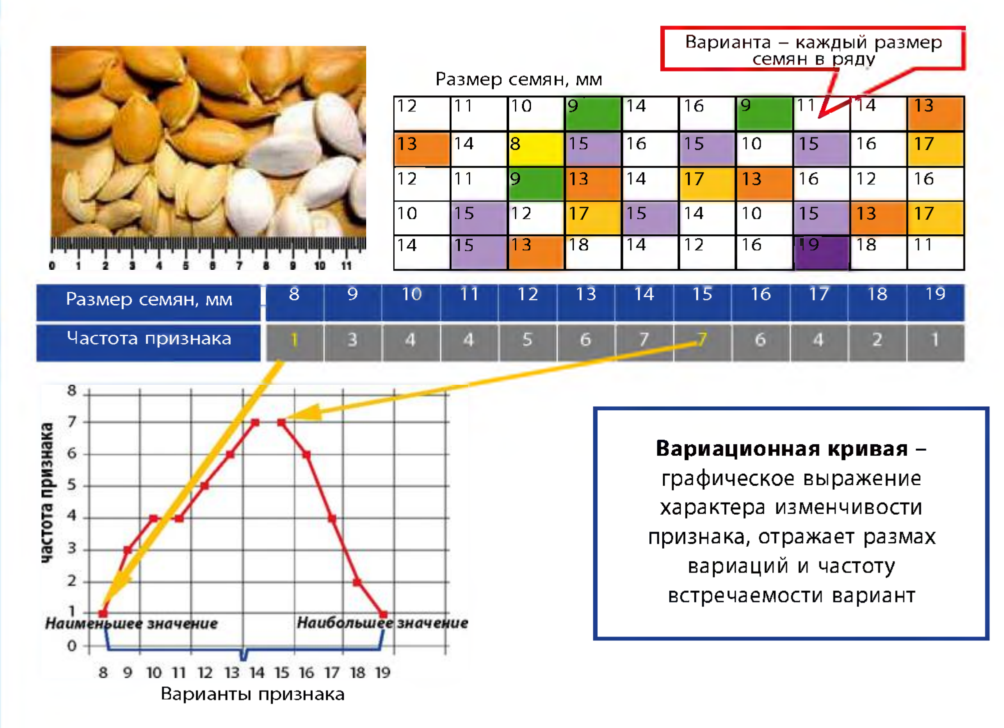
Общими свойствами модификационной изменчивости являются:

- **временность** (например, *загар* человека полностью исчезает зимой);
- **массовость** (определённое влияние обусловливает появление подобных изменений у особей вида: например, у устриц, живущих в тихой воде, ракушка широкая и округлая, а у устриц из зоны притока ракушки узкие и длинные);
- **направленность** (например, замена шерсти млекопитающих на густую обусловлена влиянием низких температур, а не действием освещения)
- **определённость** (одинаковое влияние фактора вызывает подобные изменения у всех особей вида; например, у зайцев зимний мех светлеет);
- **адаптивный (приспособительный) характер** (например, с увеличением высоты над уровнем моря количество эритроцитов в крови человека увеличивается).

Итак, модификационная изменчивость обеспечивает обычно приспособленность организмов к изменяющимся условиям среды.

## Как исследуют модификационную изменчивость?

Для исследования закономерностей модификационной изменчивости формируют **выборку** – *определённую совокупность объектов или признаков для наблюдений.* Для достоверности результатов выборка должна содержать данные не менее 25 наблюдений. На основании данных выборки строят **вариационный ряд** – *последовательность числовых показателей проявлений определённого признака, расположенных в порядке возрастания или убывания.* Особенности



| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 11 | 10 | 9 | 14 | 16 | 9 | 11 | 14 | 13 |
| 13 | 14 | 8 | 15 | 16 | 15 | 10 | 15 | 16 | 17 |
| 12 | 11 | 9 | 13 | 14 | 17 | 13 | 16 | 12 | 16 |
| 10 | 15 | 12 | 17 | 15 | 14 | 10 | 15 | 13 | 17 |
| 14 | 15 | 13 | 18 | 14 | 12 | 16 | 19 | 18 | 11 |

| Размер семян, мм | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Частота признака | 1 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7 | 6 | 4 | 2 | 1 |



Ил. 107. Вариационный ряд и вариационная кривая по признаку размера семян тыквы

вариационного ряда можно изобразить в виде *вариационной кривой*. Это *графическое выражение количественных показателей изменчивости определённого признака* (ил. 107). Для характеристики изменчивости признака вычисляют её среднее значение ($M$) по формуле: $M = \Sigma(v \cdot p) / n$, где $M$ – среднее значение признака; $v$ – варианта признака; $p$ – частота встречаемости варианты; $n$ – общее количество вариант.

При исследовании признаков чаще всего проявляются такие статистические закономерности.

- *Различные признаки имеют разный размах нормы реакции.* **Норма реакции** – *пределы модификационной изменчивости признака, которые определяются генотипом.* Границы нормы реакции обусловлены генотипом, но проявление признака в пределах нормы реакции изменяется под влиянием условий среды.
- *Любой признак может изменяться лишь в определённых пределах.* Гены определяют не готовые проявления признаков, а норму реакции признака.
- *Большинство организмов имеют варианты, близкие к среднему значению.* Это объясняется тем, что сочетание только благоприятных или неблагоприятных условий случается редко.
- *На размах модификационной изменчивости влияют внешние и внутренние условия.* Чем однороднее внешние условия развития данных особей, тем в меньшей степени проявляется модификационная изменчивость.

Итак, закономерности модификационной изменчивости являются статистическими, потому что проявляются при исследовании многих вариант того или иного признака.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

**Лабораторное исследование**

**«ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ У РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ»**

**Цель:** формируем исследовательские умения определять закономерности модификационной изменчивости, строить вариационный ряд и вариационную кривую.

**Оборудование и материалы:** раковины моллюсков-серцевидок, бобы фасоли, семена тыквы и др.

**Ход работы**

1. Выберите признак для исследования и определите совокупность наблюдений количественного признака, то есть **выборку**.
2. Определите диапазон изменчивости признака, то есть **норму реакции**.
3. Определите варианты признака и частоту каждой из вариант. Результаты запишите в таблицу и составьте **вариационный ряд**.
4. Постройте **вариационную кривую**.
5. Определите **среднее значение признака**.
6. Итог работы.

**«Биология + Медицина»**



Загар – потемнение цвета кожи под действием ультрафиолетового излучения, в результате которого в нижних слоях эпидермиса кожи откладывается пигмент меланин. Какое положительное и отрицательное значение для организма человека имеют ультрафиолетовые лучи? Докажите модификационную природу изменчивости загара человека.



## ОТНОШЕНИЕ

**Биология + Статистика**



Биологи проводят множество исследований, чтобы понять и оценить относительный вклад генотипа и условий среды в изменчивость признаков. Однако часто появляется ещё один важный источник изменчивости – случайность, которая обязательно имеет место на всех уровнях организации жизни и учитывается в статистической обработке исследований. На конкретном примере объясните значение случайности для формирования генотипа и фенотипа организмов.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое непостоянство? 2. Каково значение изменчивости? 3. Что такое модификационная изменчивость? 4. Приведите примеры модификационной изменчивости признаков. 5. Назовите основные закономерности модификационной изменчивости. 6. Какой характер имеют закономерности модификационной изменчивости? |
| 7 – 9 | 7. Назовите формы изменчивости. 8. Назовите свойства модификационной изменчивости. 9. Как исследуют модификационную изменчивость? |
| 10 – 12 | 10. На примерах докажите значение изменчивости в жизнедеятельности человека. |

*Всё должно изменяться для того, чтобы всё осталось по-старому.*
*Д. Лампедуза*

# § 40. КОМБИНАЦИОННАЯ И МУТАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

**Основные понятия и ключевые термины: КОМБИНАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ. МУТАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ. Закон гомологических рядов наследственной изменчивости.**

**Вспомните!** Что такое наследственная изменчивость?

**Подумайте!**



*«Когда открыли гробницу египетского фараона Тутанхамона, то присутствующих больше взволновали не драгоценности, а букетик полевых цветов, который положила чья-то любящая рука. Среди них можно было узнать васильки, которые синеют на полях так, как и тысячелетия назад. Сохраняя постоянство форм и признаков, ни одна живая система не повторяет свою предшественницу: так в совершенстве соединила природа наследственность и изменчивость».*

А каково значение форм наследственной изменчивости?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каково значение комбинационной изменчивости?

КОМБИНАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ – *это форма наследственной изменчивости, возникающая благодаря перераспределению генетического материала у потомков.* При комбинационной изменчивости наследуются новые сочетания генов, а сами гены не изменяются. Благодаря комбинационной изменчивости также реализуется механизм «обезвреживания» фенотипического проявления мутаций путём перевода их в гетерозиготное состояние.

Причиной возникновения проявлений комбинационной изменчивости являются ***рекомбинации*** (от лат. *re* – префикс, указывающий на повторное действие, *combinatio* – сочетание) – перераспределение генетического материала. Это универсальный биологический механизм, свойственный всем живым существам. Рекомбинация у эукариотов происходит при половом размножении, у прокариотов – благодаря половым процессам (например, конъюгации).

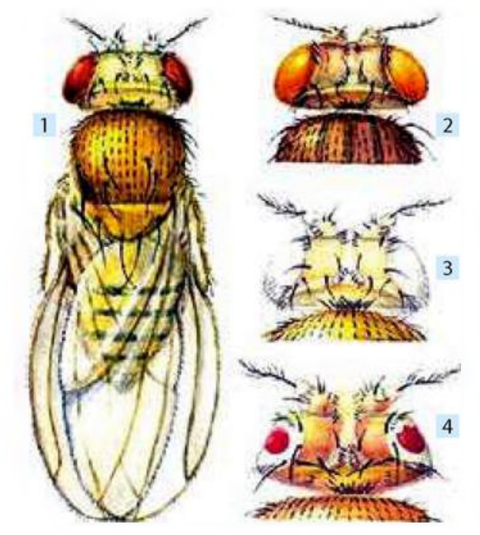
Источниками комбинационной изменчивости являются:

- кроссинговер – обмен участками гомологичных хромосом, происходящий во время мейоза;
- независимое расхождение гомологичных хромосом во время мейоза;
- случайное слияние гамет при оплодотворении.

Благодаря независимому и одновременному осуществлению этих процессов возникает большое разнообразие генотипов.

Итак, комбинационная изменчивость способствует наследственному разнообразию организмов, являющемуся основой для выведения новых пород и сортов в селекции и исторического развития живой природы.

### Каковы свойства и значение мутационной изменчивости?



Ил. 108. Мутации цвета глаз у дрозофилы: 1 – красные глаза дикого типа; 2 – мутация розовых глаз; 3 – мутация белых глаз; 4 – мутация красноточечных глаз

**МУТАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ** – *это форма наследственной изменчивости, связанная с изменениями генотипа в результате мутаций.* Эту изменчивость обусловливают изменения генотипа особей на уровне генов, хромосом и количества хромосом, поэтому её относят к генотипической. Возникают мутационные изменения под действием внутренних и внешних факторов.

Общими свойствами мутационной изменчивости являются:

- ***устойчивость*** (мутации не исчезают в течение жизни особи);
- ***индивидуальность*** (мутационные изменения проявляются у отдельных особей);
- ***ненаправленность*** (один и тот же фактор может способствовать появлению различных мутационных изменений);
- ***неопределённость*** (нельзя предсказать появление мутации под действием того или иного фактора);
- ***независимость*** (проявление мутаций в фенотипе не зависит от силы или продолжительности действия фактора);
- ***не имеют приспособительного характера*** (мутационные изменения в большинстве случаев являются вредными, нейтральными и даже летальными, то есть смертельными для организмов).

Мутационные изменения генотипа ведут к появлению признаков, которые могут иметь разное значение. Большинство мутаций, проявляющихся у организмов, вредного характера, поскольку снижают приспособленность к условиям среды. Так, у дрозофил могут появляться короткие крылья, у человека – гемофилия. Среди проявлений мутационной изменчивости бывают и нейтральные проявления признаков, которые не влияют на приспособленность, но при определённых изменениях среды обитания могут оказаться полезными. Примерами таких изменений являются появление трёх или пяти лепестков у сирени, различный цвет глаз у дрозофилы (*ил. 108*). Мутационные изменения могут иметь и адаптивное значение, обеспечивая приспособление к условиям среды. Но в целом в живой природе мутации являются источником появления новых признаков, источником генетического разнообразия, что является условием исторического развития жизни.

Итак, мутационная изменчивость связана с изменением генотипа и способствует появлению новых признаков, которые могут иметь вредное, нейтральное и адаптивное значение.

### В чём суть закона гомологических рядов наследственной изменчивости?

Исследуя наследственную изменчивость признаков различных сортов культурных растений и близких к ним диких видов, ***Н. И. Вавилов*** обнаружил много общих наследственных изменений. Это позволило ему сформулировать в 1920 г. **закон гомологических рядов в наследственной изменчивости** (*закон Вавилова*): **генетически близкие виды и роды характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что изучив ряд форм в пределах одного вида или рода, можно предположить наличие форм с подобными сочетаниями признаков в пределах близких видов или родов.**

Примеры, иллюстрирующие эту закономерность: *у пшеницы, ячменя и овса случаются белый, красный и чёрный цвет колоса; у злаковых известны формы с длинными и короткими остями и др.* Н. И. Вавилов указывал, что гомологичные ряды часто выходят за пределы родов и даже семейств. Короткопалость отмечена у представителей многих рядов млекопитающих: у крупного рогатого скота, овец, собак, человека. Альбинизм (от лат. *albus* – белый) наблюдается у всех классов позвоночных животных (и не только среди позвоночных) (*ил. 110*).


Ил. 109. Н. И. Вавилов (1887–1943)

Для селекции закон гомологических рядов позволяет предвидеть мутации, которые можно использовать для создания новых форм. Так, были предвидены признаки озимой формы твёрдой пшеницы, безостность у мягкой, твёрдой пшеницы и ячменя, голые зёрна у пшеницы, ячменя, овса.


Ил. 110. Альбинизм среди моллюсков

Для медицинской генетики закон гомологических рядов облегчает поиски наследственных отклонений. Вопросы лечения и профилактики наследственных заболеваний нельзя решить без исследования на животных с наследственными аномалиями, подобными тем, которые наблюдаются у человека. Так, у собак наблюдается гемофилия, альбинизм зарегистрирован у многих видов грызунов, кошек, собак и птиц. Недостатки строения лица человека, гомологичные «заячьей губе» и «волчьей пасти», наблюдаются в лицевом отделе черепа мыши, собак, свиней.

Для систематики закон Вавилова позволяет находить ещё не открытые формы и дополнять естественную систему органического мира.

Итак, закон гомологических рядов наследственной изменчивости имеет значение для селекции, генетики, систематики.



**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**

**Задание на сопоставление**

С помощью таблицы «Сравнительная характеристика модификационной и мутационной изменчивости» выполните сравнительный анализ. Сформулируйте вывод о сходстве и различиях модификационной и мутационной изменчивости.

| Признак | Изменчивость | |
|---|---|---|
| | модификационная | мутационная |
| Передаются ли следующему поколению? | | |
| Какой характер сохранения после появления? | | |
| Какой характер проявления среди особей вида? | | |
| Какой характер проявления относительно фактора? | | |
| Какой характер по предсказуемости проявлений? | | |
| Зависит ли проявление от силы и продолжительности действия фактора? | | |
| Каков характер проявлений по значению для организма? | | |

**Биология + Фразеологизмы**



«Белая ворона» – это выражение употребляется для характеристики человека, отличающегося от других своим поведением, внешним видом. Фразеологизму почти две тысячи лет. Его автор – древнеримский поэт Ювенал, который писал: «*Судьба даёт царства рабам, доставляет пленным триумфы. Но счастливец такой реже белой вороны бывает*». Какова причина альбинизма, что случается не только среди ворон?



## ОТНОШЕНИЕ

**Биология + Искусство**



***Никколо Паганини*** (1782–1840) – итальянский скрипач, композитор и гитарист. Одна из самых ярких личностей музыкальной истории XVIII–XIX вв. Его виртуозное исполнение музыкальных произведений стало легендой. Ценой чрезвычайного успеха скрипача была мутация, обусловливающая кроме других признаков невероятную гарячность и длинные «паучьи» пальцы (***арахнодактилия***). Прослушайте одно из известных произведений композитора (например, «Каприс № 24. Ля минор») и опишите свои чувства. Подготовьте сообщение о синдроме Марфана, который был у Н. Паганини.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое комбинационная изменчивость? 2. Назовите источники комбинационной изменчивости? 3. Что такое мутационная изменчивость? 4. Приведите примеры мутационной изменчивости. 5. Кто сформулировал закон гомологических рядов наследственной изменчивости? 6. Приведите примеры, подтверждающие закон гомологических рядов наследственной изменчивости. |
| 7 – 9 | 7. Каково значение комбинационной изменчивости? 8. Каковы свойства и значение мутационной изменчивости? 9. В чём суть закона гомологических рядов наследственной изменчивости? |
| 10 – 12 | 10. Сравните модификационную и мутационную изменчивость. |

*Omnia mutantur (Всё изменяется)*
*Латинская пословица*

# § 41. МУТАЦИИ. МУТАГЕНЕЗ

**Основные понятия и ключевые термины: Мутационная теория. МУТАЦИИ. Мутагены.**

**Вспомните!** Что такое мутационная изменчивость?

**Подумайте!**



*«Известно более 25 000 сортов роз. Среди них – с лепестками зелёного или чёрного цвета, с очень большими и очень маленькими цветками, колючие и без шипов. Есть даже такие, что пахнут гвоздикой, гиацинтом, ванилью... Но всё это розы»*. Что вызывает появление признаков, которые закреплялись в селекции роз?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каково научное значение мутационной теории?

**Мутационная теория** – *раздел генетики, изучающий причины, разнообразие и значение мутаций*. Основные положения теории мутаций были сформулированы голландским ботаником Гуго де Фризом (1848–1935). Развитие теории связано с исследованиями таких учёных, как Г. Меллер, В. Сахаров, С. Гершензон и др. Основой современной мутационной теории являются следующие положения.

- Способность к мутациям – универсальное свойство всех организмов.
- Мутации возникают внезапно, скачкообразно и проявляются в виде признаков.
- Мутации являются наследственными и передаются поколениям, если не вызывают стерильность или гибель организмов.
- Одни и те же мутации могут проявляться повторно и неоднократно.
- Мутации проявляются по-разному и могут быть генными, хромосомными и геномными, доминантными и рецессивными, соматическими и генеративными.
- Мутации не направлены на действие факторов и могут быть полезными, вредными или нейтральными для организмов.
- Мутации могут быть спонтанными и индуцированными. Индуцированные мутации вызваны действием на организм мутагенов.

Современная мутационная теория имеет важное значение для селекции, эволюционной биологии, медицины, микробиологической промышленности, сельского хозяйства и др.

Итак, мутационная теория является важным разделом современной генетики.

### Каковы виды и последствия мутаций?

**МУТАЦИИ** (от лат. *mutation* – изменение) – *устойчивые изменения генетического аппарата, возникающие внезапно и вызывающее изменения тех или иных наследственных признаков организма*. По характеру наследственных изменений генетического аппарата разли-

чают генные, хромосомные и геномные мутации.

*Генные мутации – изменения отдельных генов, вызванные нарушением последовательности нуклеотидов в молекулах нуклеиновых кислот.* Нарушения в структуре ДНК приводят к мутациям лишь если не происходит репарация. Генная мутация касается, как правило, только одного признака или признаков, определяемых одним геном. Генные мутации могут быть доминантными (например, меланизм у леопардов, укороченный хвост у кошек (*ил. 111*), полидактилия у человека) и рецессивными (например, альбинизм у позвоночных животных, фенилкетонурия у человека). Значение генных мутаций заключается в том, что они составляют большинство мутаций, с которыми связана эволюция органического мира.



Ил. 111. Генная мутация короткохвостости в кошки породы бобтейл

*Хромосомные мутации – изменения, возникающие в результате перестройки хромосом.* Они возникают вследствие разрыва хромосом с образованием фрагментов, которые затем объединяются. Они могут проявляться как внутри одной хромосомы, так и между хромосомами. Хромосомные перестройки, как правило, приводят к нарушениям множества признаков и вызывают отклонения, сокращающие жизнь или несовместимые с нею. Примером хромосомных мутаций является синдром «крика кошки» человека (46,5–), при котором наблюдается потеря фрагмента в пятой паре хромосом.

*Геномные мутации – это мутации, связанные с изменением количества наборов хромосом.* Основные виды: увеличение количества хромосомных наборов (***полиплоидия***), уменьшение количества хромосомных наборов, изменение числа хромосом отдельных пар (***анеуплоидия***). Геномные мутации в природе являются одним из механизмов видообразования. Геномные мутации используют для создания полиплоидных сортов, отличающихся увеличенными размерами клеток и организмов, высокой урожайностью (*ил. 112*). Геномные мутации часто нарушают мейоз и воспроизведение, вызывают бесплодие, наследственные болезни, снижают жизнеспособность организмов. Примером такого заболевания является синдром Дауна у человека (47, 21+).



Ил. 112. Триплоидный сорт бессемянных арбузов

Итак, по характеру наследственных изменений генетического аппарата различают генные, хромосомные и геномные мутации.

## Каковы причины мутаций?

В зависимости от причин наследственных изменений мутации делят на спонтанные и индуцированные. *Спонтанные (природные) мутации* – это мутации, возникающие в естественных условиях, а *индуцированные (искусственные) мутации* возникают в искусственных условиях под направленным воздействием мутагенных факторов.

**Мутагены** – *факторы, вызывающие мутации.* По происхождению мутагены являются физическими, химическими и биологическими.

Среди **физических мутагенов** наибольшее значение имеет ионизирующее излучение (рентгеновское, ультрафиолетовое, гамма-лучи). Проникая в клетки, лучи выбивают электроны из внешней оболочки атомов или молекул, вследствие чего возникают отрицательно заряжённые частицы или высокоактивные свободные радикалы. Они нарушают структуру белков, вызывают разрывы ДНК, появление хромосомных и генных мутаций. К физическим мутагенам относятся также фотоны света, повышенная температура и т. п.

**Химические мутагены** были открыты после физических. Значительный вклад в их изучение сделала украинская школа генетиков, возглавляемая академиком *С.М. Гершензоном.* Ныне известно немало химических мутагенов. Это пероксид водорода, азотная кислота, формальдегид, хлороформ, бензопирен. К химическим мутагенам относят также пестициды, некоторые лекарственные препараты (антибиотики, хинин), тяжёлые металлы, некоторые пищевые добавки. К опасным химическим мутагенам отнесены асбест и диоксины, образующиеся в результате термической переработки органического сырья. Химические мутагены способны вызывать мутации всех типов, и их механизм действия подобен влиянию облучения.



Ил. 113. С. М. Гершензон (1906–1998) открыл мутагенное действие ДНК

К **биологическим мутагенам** относятся вирусы, токсины грибов-паразитов, ядовитых растений и животных. Так, в клетках, поражённых вирусами, мутации наблюдают значительно чаще, чем в здоровых. Вирусы могут переносить определённое количество собственной генетической информации в генотип клетки-хозяина. Считают, что эти процессы играли важную роль в эволюции прокариотов.

Живые организмы имеют биологические антимутационные механизмы, направленные на защиту генетической информации от мутаций. Это: а) репарация (удаление при участии ферментов из молекулы ДНК изменённых участков); б) вырождение генетического кода; в) апоптоз (запрограммированная гибель соматических клеток, наблюдаемая в случае окончания срока жизни клетки или различных заболеваний и не допускающая деления мутантных клеток); г) повторяемость многих генов в геноме.

Итак, причиной спонтанных мутаций являются природные условия (радиационный фон Земли, ультрафиолетовые лучи солнечного света), а индуцированных – физические, химические и биологические мутагены.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

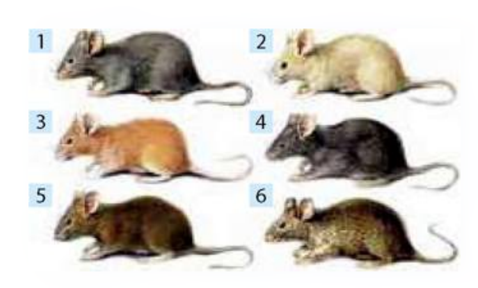
### Практическое упражнение «Примеры мутаций и модификаций»

Определите, какие из названных изменений является мутациями (А), а какие – модификациями (Б): а) рахит у человека; б) изменение

формы листа у стрелолиста вследствие погружения в воду; в) редуцированные крылья у дрозофилы; г) повышение количества эритроцитов в крови человека в высокогорных условиях; д) полиплоидия у кукурузы; е) различная окраска цветков у китайской примулы при различных температурах; е) альбинизм тигров; ж) изменение окраски шерсти у зайца-русака на зиму; с) дальтонизм человека; и) синдром Марфана; и) загар человека.

| А. Мутации | Б. Модификации |
|---|---|
| | |

**Задание на применение знаний**




На иллюстрации показаны мутации окраски шерсти у мыши домашней: 1 – серая окраска дикого типа мыши; 2 – мутантная форма с белой окраской; 3 – мутантная форма с жёлтой окраской; 4 – мутантная форма с чёрной окраской; 5 – мутантная форма с коричневой окраской; 6 – мутантная форма с точечной окраской. Каково значение мутаций для мыши домашней в частности и живой природы в целом?



## ОТНОШЕНИЕ

**Биология + Здоровье**

Примените знания и обоснуйте меры по профилактике мутаций. Выскажите мнение относительно влияния на потомство вредных привычек родителей (курение, употребление алкогольных напитков, наркотических веществ).

**МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ МУТАГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

| Меры | Обоснование |
|---|---|
| Избегайте копчёных мясных продуктов, газированной воды с синтетическими красителями | |
| Употребляйте больше натуральных продуктов | |
| Формируйте убеждение о негативном влиянии вредных привычек | |
| Потребляйте больше капусты, хлеба с отрубями, зелень, крупы | |
| Не злоупотребляйте средствами бытовой химии | |
| Употребляйте в питании витамины А, Е | |
| Не принимайте без консультации с врачом неизвестные лекарства | |
| Периодически используйте травяные сборы для очищения печени | |
| Своевременно лечите воспалительные заболевания | |



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое мутационная теория? 2. Назовите основные положения мутационной теории. 3. Что такое мутации? 4. Приведите примеры мутаций. 5. Что такое мутагены? 6. Назовите основные группы и примеры мутагенов. |
| 7 – 9 | 7. Каково научное значение мутационной теории? 8. Каковы виды и последствия мутаций? 9. Назовите причины мутаций. |
| 10 – 12 | 10. Обоснуйте меры по профилактике и защите от мутагенных факторов. |

*Генетика человека изучает особенности наследственности и изменчивости вида Homo sapiens sapiens.*

*А. В. Сиволоб и др. Генетика*

# § 42. МЕДИИЦИНСКАЯ ГЕНЕТИКА

**Основные понятия и ключевые термины: МЕДИЦИНСКАЯ ГЕНЕТИКА. Наследственные заболевания человека. Генетическое консультирование. Молекулярно-генетические методы.**

**Вспомните!** Что изучает генетика?

## Новости науки




Биотехнология CRISPR-Cas9 (генетики произносят как «гриспер») является революцией в молекулярной генетике. Её позаимствовали у бактерий. Система CRISPR (от англ. *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) – скопление разделенных регулярными промежутками коротких симметричных повторов) служит для внесения изменений в геном, удаления или корректирования мутантных генов. Каковы перспективы этой технологии?

## СОДЕРЖАНИЕ

### Что является предметом исследований медицинской генетики?

**МЕДИЦИНСКАЯ ГЕНЕТИКА** – *раздел генетики человека, изучающий роль наследственных факторов в развитии заболеваний*. Основной задачей этой науки являются выявление, изучение, лечение и профилактика наследственных заболеваний.

**Наследственные заболевания** – *наследственные расстройства организма, связанные с нарушением генетического аппарата (генов, целостности или количества хромосом)*. Наследственные болезни делятся на генные, хромосомные и болезни с наследственной предрасположенностью.

***Генные болезни*** – *наследственные болезни, вызванные генными мутациями*. Эти болезни могут быть доминантными аутосомными (полидактилия) (*ил. 114*) или рецессивными аутосомными (фенилкетонурия, болезнь Тея-Сакса), рецессивными сцепленными с Х-хромосомой (гемофилия, дальтонизм), сцепленными с Y-хромосомой (ихтиоз). Плейотропным действием одного гена объясняется болезнь Марфана.



Ил. 114. Кисть человека, больного полидактилией

***Хромосомные болезни*** – *это наследственные болезни, вызванные хромосомными и геномными мутациями*. Общим для всех хромосомных болезней являются множественные поражения. Это врожденные пороки развития, замедление роста, нарушение функций регуляторных систем, отставание психического развития и др. Хромосомные мутации в основном вызывают тяжёлые аномалии, несовместимые с жизнью (например,

синдром «крика кошки», 46,5–). Примерами геномных мутаций являются синдром Дауна (47, 21+), синдром Патау (47, 13+), синдром Эдвардса (47, 18+) и др.

***Болезни с наследственной предрасположенностью** – это заболевания, для развития которых необходимо взаимодействие внутренних наследственных и внешних неблагоприятных влияний среды.* К этой группе относятся: сахарный диабет, гипертония, язвенная болезнь желудка, бронхиальная астма, шизофрения, эпилепсия и др.

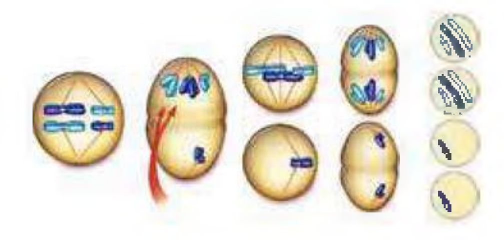
Специализированный вид медицинской помощи населению, направленный на профилактику наследственных болезней, называют **медико-генетическим консультированием.** Его суть заключается в прогнозировании рождения ребенка с наследственной патологией и объяснении вероятности этого события. Прибегать к генетическому консультированию желательно всем супружеским парам, которые планируют иметь ребенка.

Итак, предметом исследований медицинской генетики являются наследственные заболевания, вызванные различными нарушениями генов и хромосом.

### Какое влияние на потомство оказывают вредные привычки?

Самыми опасными вредными привычками является табакокурение, употребление алкогольных напитков, наркотических веществ. Вредное воздействие оказывают попадание в организм и действие этилового спирта, наркотических веществ, бензопирена, никотина, соединений тяжёлых металлов и др. Воздействие может быть терато-, мута-, канцерогенным.

***Тератогенное*** (от греч. *тератос* – чудовище) ***влияние** – влияние факторов, нарушающих нормальное развитие тканей и органов и вызывающих пороки развития.* Так, алкоголь, проникая через плаценту, может оказывать прямое токсическое действие на клетки эмбриона, приводя к различным аномалиям, получившим название *алкогольный синдром плода*.



Ил. 115. Нарушение расхождения хромосом в мейозе

***Мутагенное влияние** – появление под действием разных факторов различных мутаций, которые являются причиной наследственных заболеваний.* Например, этиловый спирт может вызвать различные повреждения хромосом половых клеток. В результате у зародыша вместо двух половых хромосом может образоваться одна или три, что приводит к наследственным заболеваниям (синдром Шерешевского-Тернера – 44 + X, синдром Клайнфельтера – 44 + XXY) (*ил. 115*).

***Канцерогенное*** (от лат. *cancer* – рак, *gen* – образование) ***воздействие** – действие физических, химических или биологических факторов, вызывающих образование и развитие опухолевых заболеваний* (*табл. 11*).

**Таблица 11. РАЗНООБРАЗИЕ КАНЦЕРОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

| Физические | Химические | Биологические |
|---|---|---|
| • Ионизирующее излучение<br>• Ультрафиолетовое излучение<br>• Инфракрасное излучение<br>• Электромагнитное излучение<br>• Механические травмы тканей | • Полициклические углеводороды<br>• Бензол и гомологи<br>• Нитрозосоединения<br>• Тяжёлые металлы<br>• Диоксины | • Вирусные<br>• Паразитарные |

По приоритетности опасности определены три основных класса известных на сегодня канцерогенов: 1) группа полициклических углеводородов (например, бензопирен); 2) нитрозосоединения; 3) соединения тяжёлых металлов. Доказано, что 80 % злокачественных новообразований обусловлены химическими канцерогенами.

Итак, вредные привычки могут оказывать терато-, мута-, канцерогенное влияние на наследственность человека.

## Каковы современные методы изучения наследственности человека?

| Методы диагностики наследственных болезней человека |
|---|
| 1. Генеалогический |
| 2. Биохимический |
| 3. Цитогенетический |
| 4. Дерматоглифический |
| 5. Близнецовый |
| 6. Молекулярно-генетические |

Основным методом изучения наследования признаков на протяжении ряда поколений является *генеалогический метод*. На молекулярном уровне применяют *биохимические методы*, основанные на изучении обмена веществ. На уровне клеток используют *цитогенетические методы* изучения хромосомных и геномных мутаций. На уровне организма наследование болезней изучают с помощью *дерматоглифического*, *иммунологического*, *близнецового* и других методов. Однако революционный прорыв в исследованиях стал возможным благодаря современным методам молекулярной генетики. **Молекулярно-генетические методы** – *это методы, предназначенные для обнаружения повреждений в структуре ДНК, определения сходства или различия геномов, расшифровки последовательности нуклеотидов ДНК и РНК*. К современным методам молекулярной генетики относятся: ***метод секвенирования*** (определение нуклеотидной последовательности фрагментов ДНК); ***метод полимерной цепной реакции*** (для увеличения количества фрагментов ДНК); ***метод гибридизации ДНК (РНК)*** (для выявления нужных генов и распознавания последовательностей ДНК); ***методы блоттинга*** (для переноса белков или нуклеиновых кислот из раствора на полимерные мембраны-фильтры, где их определяют).

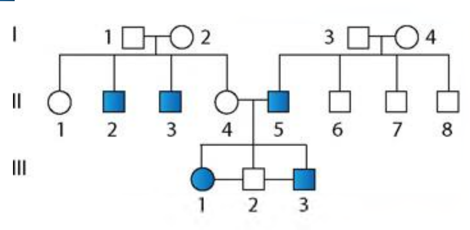
Для получения ДНК у человека чаще всего берут лейкоциты крови, клетки слизистой оболочки рта или околоплодной жидкости. Молекулярно-генетические методы требуют незначительного количества исследуемого материала. Изучить структуру генома организма можно по одному волоску, наименьшему следу крови, кусочку кожи или кости.

Итак, с помощью молекулярно-генетических методов обнаруживают мутантные гены, диагностируют наследственные болезни, идентифицируют личность человека, помогают установить отцовство, выделяют и синтезируют гены и др.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний




Приведена родословная семьи, в которой случается альбинизм. Определите: а) условные обозначения схемы; б) тип наследования заболевания; в) фенотипы лиц II, 4 и II, 5 и представителей III поколения. Каково значение генеалогического метода диагностики наследственных заболеваний человека?

### Биология + Искусство



Картина Рафаэля Санти (1483–1520) «Сикстинская Мадонна» (1514) в истории искусства является образом совершенной красоты. На ней изображено чудо явления Небесной Царицы, рядом с которой художник нарисовал папу Сикста IV с шестью пальцами правой руки. Укажите научное название этого признака – одной из древнейших мутаций человека. Определите особенности этого наследственного заболевания.



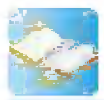
## ОТНОШЕНИЕ

### Проект «СОСТАВЛЕНИЕ СОБСТВЕННОЙ РОДОСЛОВНОЙ»

Знание собственной родословной, ознакомление с биографиями своих предков способствуют личностному совершенствованию и самосознанию собственного «Я». Проводя генеалогическое исследование, главное – не забывать, что вы – это уникальная личность со своими собственными достоинствами и заслугами.

Составьте родословную, пользуясь такими правилами:

1) лицо, родословную которого составляют, называется пробандом;
2) лица женского пола обозначают кружком, мужского – квадратом;
3) каждое поколение занимает отдельную строку, на которой слева направо в ряд размещаются члены семьи в порядке рождения;
4) символы лиц, состоящих в браке, соединяются линией;
5) последовательные поколения обозначают римскими цифрами, потомков одного поколения – арабскими.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое медицинская генетика 2. Что такое наследственные заболевания? 3. Приведите примеры наследственных заболеваний человека. 4. Приведите примеры влияния вредных привычек на потомство человека. 5. Что такое молекулярно-генетические методы? 6. Приведите примеры молекулярно-генетических методов. |
| 7 – 9 | 7. Что является предметом исследований медицинской генетики? 8. Какое влияние на потомство оказывают вредные привычки? 9. Назовите современные методы медицинской генетики. |
| 10 – 12 | 10. Докажите важность медико-генетического консультирования и молекулярных методов диагностики в современной генетике. |

# Обобщение темы 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ

## Таблица 12. ТИПЫ НАСЛЕДОВАНИЯ

| | |
|---|---|
| **А. В зависимости от локализации генов** | |
| Ядерное наследование | Наследование при участии генов, расположенных в хромосомах ядра эукариотов или нуклеоида прокариотов |
| Цитоплазматическое наследование | Наследование признаков, гены которых расположены в структурах цитоплазмы (митохондрий, пластид, плазмид) |
| Аутосомное наследование | Наследование при участии генов аутосом. Выделяют аутосомно-доминантный и аутосомно-рецессивный типы наследования |
| Сцепленное наследование | Наследование, которое осуществляется при участии генов, расположенных в одной хромосоме |
| Сцепленное с полом наследование | Наследование при участии генов половых хромосом. Выделяют Х-сцепленный (доминантный и рецессивный), Y-сцепленный типы наследования |
| **Б. В зависимости от количества генов, определяющих какой-нибудь признак** | |
| Моногенное | Тип наследования, при котором наследственный признак контролируется одним геном |
| Полигенное | Наследования, при котором признак контролируется несколькими генами |
| **В. В зависимости от проявления признаков гетерозигот** | |
| Наследование с полным доминированием | Наследование, при котором один из аллельных генов полностью подавляет проявление другого, в результате чего у гетерозиготных организмов проявляется только один признак (например, окраска и формы семян гороха) |
| Наследование с неполным доминированием | Наследование, при котором доминантные аллели лишь частично преобладают над рецессивными, следствием чего является появление промежуточного проявления признака (например, наследование формы волос у человека) |

## Таблица 13. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ ОРГАНИЗМОВ

| Название | Формулировка |
|---|---|
| **Закон единообразия гибридов первого поколения** (I закон Менделя) | При моногибридном скрещивании родительских особей, отличающихся проявлениями одного признака, в потомстве наблюдаются только доминантные проявления признака и все потомки будут однообразными как по генотипу, так и по фенотипу |
| **Закон расщепления** (II закон Менделя) | При моногибридном скрещивании двух гибридов первого поколения, которые являются гетерозиготами, в потомстве наблюдается расщепление по фенотипу 3 : 1 и по генотипу 1 : 2 : 1 |
| **Закон независимого наследования признаков** (III закон Менделя) | Каждая пара признаков наследуется независимо от других признаков |
| Закон чистоты гамет | Во время образования половых клеток в каждую гамету попадает только один аллель из каждой пары аллельных генов |
| **Закон сцепленного наследования** (закон Моргана) | Сцепленные гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются вместе и не проявляют независимого распределения |
| **Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости** (закон Вавилова) | Генетически близкие виды и роды характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что изучив ряд форм в пределах одного вида или рода, можно предположить наличие форм с подобными сочетаниями признаков в пределах близких видов или родов |

## Самоконтроль знаний

### Тест-применение 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ

**1.** У дрозофил к числу распространённых относят мутации «жёлтое тело» и «закрученные крылья». Их можно наблюдать в природе и создать в лаборатории. Как называются мутации, появляющиеся в лабораторных условиях?

**А** спонтанные **Б** индуцированные **В** произвольные **Г** модельные

**2.** Какой метод применяют для изучения родословных организмов?

**А** гибридологический **В** цитогенетический
**Б** генеалогический **Г** биохимический

**3.** Примером какого типа взаимодействия неаллельных генов является наследование окраски оперения у волнистых попугаев?

**А** комплементарность **В** полимерия
**Б** эпистаз **Г** плейотропия

**4.** Очень устойчивыми к воздействию облучения оказались взрослые насекомые. Так, таракан рыжий может выдерживать облучение в несколько сотен рентген, тогда как для человека критичными являются дозы на уровне 50 рентген. Почему?

**А** хитиновый покров надёжно защищает от проникающей радиации
**Б** у насекомых на стадии имаго полностью прекращается клеточное деление
**В** у насекомых на стадии имаго деление клеток является более интенсивным
**Г** жировое тело членистоногих поглощает дозы облучения

**5.** С. М. Гершензон и его ученики выращивали дрозофил на среде, насыщенной ДНК. Оказалось, что в таких колониях массово возникают мутации, тогда как в пробирках, среда которых содержала различные белки, мутаций не наблюдалось. Какой вывод был сделан?

**А** ДНК является «чистым листом» для возникновения мутантных генов
**Б** ДНК является слабым источником энергии для дрозофил
**В** чистая ДНК является сильным биологическим мутагеном
**Г** белки защищают клетки от мутаций

**6.** Наличие пигмента в волосах человека доминирует над альбинизмом. Муж и жена – гетерозиготные по пигментации. Какова вероятность рождения у них ребёнка-альбиноса?

**А** 25% **Б** 50% **В** 75% **Г** 100%

**7.** Определите, какое из названных изменений не является модификацией.

**А** рахит у человека
**Б** различная окраска цветков у китайской примулы при различных температурах
**В** редуцированные крылья у дрозофилы
**Г** увеличение количества эритроцитов в крови человека в высокогорных условиях

**8.** Какие гаметы образует зигота Aabb?

**А** Ab, ab **Б** Aa, bb **В** Ab **Г** ab

**9.** Укажите название наследственной болезни, связанной с нарушением обмена аминокислот и накоплением токсичных продуктов, что приводит к тяжёлым поражениям организма и умственной отсталости.

**А** гемофилия **Б** фенилкетонурия **В** дальтонизм **Г** синдром Дауна

**10.** Длинношерстного чёрного самца морской свинки скрестили с чёрной короткошерстной самкой. Получено 15 свинок с короткой чёрной шерстью, 13 – с длинной чёрной, 4 – с короткой белой, 5 – с длинной белой. Определите генотипы родителей, если длинная (А) и чёрная (В) шерсть являются доминирующими проявлениями признаков.

**А** АаВВ × ааВв **Б** АаВв × ааВв **В** ААВв × ааВв **Г** АаВв × ааВВ

# Тема 6. ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

***Эволюция – это серия последовательных изменений с исторически важным результатом.***
*Энциклопедия для детей*

## § 43. ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

**Основные понятия и ключевые термины: БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ. Доказательства эволюции.**

**Вспомните!** Что такое развитие?

**Подумайте!**

Чем отличаются революционное и эволюционное развитие? Эти понятия рассматривают как противоположные. Революцию связывают с резкими изменениями в жизни общества, которые осуществляются иногда достаточно радикальными средствами. А что же такое эволюция и каковы её признаки?



Э. Делакруа. Свобода, ведущая народ. Картина, посвящённая Июльской революции 1830 гг. во Франции



**СОДЕРЖАНИЕ**

### Каковы основные признаки биологической эволюции?



Ил. 116. Шарль Бонне (1720–1793)

Понятие *эволюция* (от греч. *эволюция* – развёртывание) впервые ввёл в науку швейцарский натуралист и философ ***Шарль Бонне*** ещё в 1762 г. Этим понятием в современной биологии обозначают не только количественные, но и качественные изменения живого в течение длительных периодов. Биологической эволюции присущи такие общие признаки.

- ***Необратимость эволюции.*** Это положение на уровне видов впервые сформулировано Ч. Дарвином: *«Вид, который исчез, никогда не может появиться снова, даже если бы снова повторились абсолютно тождественные условия жизни – органические и неорганические»*. Сейчас эта закономерность доказана и на других уровнях. Так, с помощью моделирования эволюции белков на молекулярном уровне было показано, что новые мутации зависят от предыдущих, и вернуться назад и удалить накопившиеся мутации без ущерба для белков становится всё сложнее.
- ***Направленность эволюции*** на приспособление организмов к изменениям действия тех или иных факторов. Результатом биоло-

гической эволюции всегда является соответствие живой системы условиям её существования.

- ***Уровневость эволюции,*** которая прослеживается на каждом из уровней организации жизни: молекулярном, клеточном, организменном, популяционно-видовом, биогеоценозном и биосферном.

Биологическая эволюция тесно взаимосвязана с геологической историей Земли, с действием космических и геологических сил и факторов окружающей среды.

Итак, **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ** – это необратимое, направленное историческое развитие живой природы, сопровождающееся изменениями на всех уровнях организации жизни.

### Как происходило развитие эволюционных взглядов?

Идеи эволюции органического мира уходят в давность. Ещё античные философы (Гераклит, Демокрит) высказывали идею единства природы, согласно которой все тела и явления природы происходят от каких-то материальных начал. Такие представления объединяются в систему взглядов под названием ***стихийный материализм*** (от лат. *materialis* – вещественный).

В эпоху Средневековья царила ***метафизика*** (от греч. *цель* – над, *физис* – природа) – учение о сверхъестественной первооснове бытия, сверхчувствительных, недоступных опыту принципах существования мира. Взгляды о том, что мир и разные формы жизни на Земле созданы высшей, сверхъестественной силой в процессе актов творения (концепция «молодой Земли», концепция «Разумного замысла»), являются основой ***креационизма*** (от лат. *creatio* – творение).

В эпоху Возрождения активизировались научные исследования, чему способствовали географические открытия и накопление описательного материала. Формируются идеи видоизменяемости живого, становясь основой ***трансформизма*** (от лат. *transformatio* – превращение), а впоследствии и ***эволюционизма*** (от лат. *evolutio* – развёртывание).

В первой половине XIX в. формируется эволюционный взгляд на природу и развивается **эволюционная биология** – *наука о причинах, движущих силах, механизмах и закономерностях исторического развития органического мира*. Эта наука сформировалась на основе палеонтологии, сравнительной анатомии, эмбриологии, систематики, а несколько позже – генетики, экологии, молекулярной биологии. В связи с особенностями эволюционных преобразований на разных уровнях в современной науке возникли три основных направления исследований эволюционных процессов:

1) молекулярно-биологический (анализ молекулярной эволюции биомолекул, в частности белков и нуклеиновых кислот);
2) генетико-экологический (исследование микроэволюционных процессов на уровне популяций, видов, экосистем и биосферы с помощью методов популяционной генетики и экологии);
3) эволюционно-морфологический (исследование эволюции методами палеонтологии, сравнительной анатомии, эмбриологии).

Итак, представления об эволюции зародились ещё в древних цивилизациях и формировались в соответствии с накоплением знаний о живой природе.

## Какова роль палеонтологии, молекулярной генетики в обосновании теории эволюции?

Доказательства эволюции – *научные данные, подтверждающие историческое развитие всех живых существ на Земле*. Способность к развитию во времени характерна для всех проявлений жизни, и поэтому доказательства биологической эволюции могут быть представлены всеми биологическими науками. Сравнительно-анатомические, эмбриологические, биогеографические, биохимические, этологические, физиологические и много других исследований исторического развития организмов подтверждают факт эволюции, выясняя признаки сходства строения, зародышевого развития, распространения, химического состава, поведения, жизненных функций и т. д., что свидетельствует о родстве и единстве органического мира.

**Палеонтологические доказательства** имеют наиболее надёжный и наглядный характер. Палеонтологи изучают вымершие организмы, их вид и биологические особенности, на основе чего восстанавливают ход эволюции. На сегодня установлено значительное количество последовательностей ископаемых форм (*филогенетических рядов*) организмов, в частности моллюсков, парнокопытных, слонов и др. Найдены и описаны вымершие организмы, сочетающие в себе признаки двух больших систематических групп (*ископаемые переходные формы*). Примером таких вымерших форм является археоптерикс (*ил. 117*), териодонты, риниофиты, семенные папоротники.



Ил. 117. Археоптерикс – ископаемая переходная форма между рептилиями и птицами

**Молекулярно-генетические доказательства** позволяют сравнивать даже очень отдалённые группы организмов – бактерии, эукариоты и археи – и делать вывод об их эволюционном родстве. Универсальность генетического кода, химического состава мембран, строение белков, состоящих из 20 «волшебных» аминокислот – эти и многие другие признаки служат доказательствами общности происхождения жизни на Земле. Важным для оценки эволюционных изменений геномов является метод гибридизации ДНК. Молекулы ДНК двух разных организмов разделяют на одноцепочечные молекулы, а затем создают условия для их соединения с образованием гибридной двухцепочечной ДНК. Таким образом было обнаружено, что между геномами разных организмов много общего. Например, геном человека примерно на 90 % совпадает с геномом мыши и лишь на 1 % отличается от генома шимпанзе.

Изучение генетического родства различных групп организмов на основе молекулярно-генетических исследований РНК, ДНК, белков – суть ***молекулярной филогенетики***. Одним из крупнейших открытий с помощью этого направления исследований стало открытие архей (К. Вёзе, 1977).

Итак, эволюция является неоспоримым научным фактом, подтверждаемым исследованиями различных наук.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Научной основой формирования эволюционного учения были открытия различных биологических наук. Установив правильное соответствие между науками и их открытиями, получите название явления, с помощью которого французский зоолог Ж. Кювье мог по одной кости воссоздать облик вымершего животного.

| | |
|---|---|
| **1** Цитология | **Л** Идея единства организмов и условий существования |
| **2** Эмбриология | **Ц** Изоляция способствует сходству флоры и фауны разных континентов |
| **3** Палеонтология | **К** Все живые организмы имеют клеточное строение |
| **4** Биохимия | **О** Открытие сходства этапов развития зародышей животных |
| **5** Экология | **Е** Доказано химическое единство неживой и живой природы |
| **6** Молекулярная биология | **Р** Установлена изменчивость флоры и фауны в прошлом Земли |
| **7** Биогеография | **И** Материальными носителями наследственности являются гены и хромосомы |
| **8** Генетика | **$Я_2$** Единство плана строения больших групп животных и растений |
| **9** Сравнительная анатомия | **$Я_1$** Сходство белков и ДНК указывает на генетическое родство |

| 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Поэзия

В стихотворении Эразма Дарвина (деда Ч. Дарвина) «Храм природы» есть строки: «*Итак, смирись же в гордыне спесивой и вечно помни, дух себялюбивый, что червь – твой родич, брат твой – муравей!*» (*перевод Н. Холодковского*). О чём идёт речь? Сделайте вывод о единстве органического мира, которое проявляется через его разнообразие.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1.Что такое биологическая эволюция? 2. Назовите основные признаки биологической эволюции. 3. Что такое эволюционная биология? 4. Назовите основные направления эволюционной биологии. 5. Что такое доказательства эволюции? 6. Что такое палеонтологические и молекулярно-генетические доказательства эволюции? |
| 7 – 9 | 7. Каковы основные признаки биологической эволюции? 8. Как происходило развитие эволюционных взглядов? 9. Назовите основные группы доказательств эволюции? |
| 10 – 12 | 10. Какова роль палеонтологии и молекулярной генетики в обосновании эволюции? |

*Теория, мой друг, суха,*
*Но зеленеет жизни древо!*
*И. В. Гете. Фауст*

# § 44. ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ

**Основные понятия и ключевые термины: ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ. Теория эволюции Дарвина. Синтетическая теория эволюции.**

**Вспомните!** Что такое эволюция?

**Упражнение**

***Теория*** (от греч. *теорис* – рассмотрение, исследование) – система знаний и представлений о действительности, создаётся в процессе познавательной деятельности человека. Сопоставьте естественные науки с теориями – основой их развития. Каково значение теории эволюции для человека?

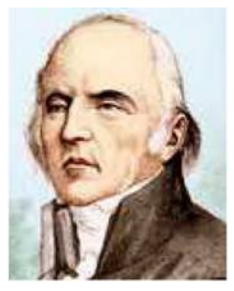
| | | | |
|---|---|---|---|
| **1** | Астрономия | **А** | Тектоническая теория |
| **2** | Геология | **Б** | Теория относительности |
| **3** | Физика | **В** | Клеточная теория |
| **4** | Химия | **Г** | Теория Большого Взрыва |
| **5** | Математика | **Д** | Теория электролитической диссоциации |
| **6** | Биология | **Е** | Теория вероятности |



**СОДЕРЖАНИЕ**

**Чем отличаются различные существующие эволюции?**

ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ – *система обобщённых знаний, объясняющая механизмы изменений живых организмов, их сообществ и причины образования биоразнообразия на Земле в процессе эволюции.* Первые целостные теории эволюции выдвинули в начале XIX в. ***Эразм Дарвин*** и ***Жан Батист Ламарк***. Большое влияние на формирование эволюционной биологии как самостоятельной отрасли науки имела теория эволюции ***Чарлза Дарвина***. В середине XX в. формируется синтетическая теория, кроме которой развивались альтернативные теории эволюции. На сегодня в эволюционной биологии известно несколько десятков теорий, среди которых выделяются:



Ил. 118. Ж. Б. Ламарк (1744–1829) – французский натуралист

- *телеологические концепции эволюции* – эволюция органического мира происходит не случайно, а по определённой программе, заложенной в каком-то неизвестном нам генетическом коде Вселенной или же в творческой идее её Творца;
- *теория эволюции Ламарка* – представление об эволюции как ступенчатом развитии живого от простого к сложному. Факторы эволюции по Ламарку: 1) внутреннее стремление к совершенствованию; 2) прямое влияние условий среды через управляемость или неуправляемость органов определяет изменчивость организмов; 3) наследуются только приобретённые при жизни особей полезные признаки;
- *теория эволюции Дарвина* – система взглядов об эволюционном развитии живого под действием таких факторов эволюции, как неопределённая (наследственная) изменчивость и естественный отбор, что является следствием борьбы за существование;

- *синтетическая теория эволюции* – система представлений о том, что движущей силой эволюции является естественный отбор генетических мутаций и рекомбинаций, и которая начинается на уровне популяций.

Сегодня не прекращаются поиски факторов и условий эволюционного развития живого. Среди современных теорий эволюции можно назвать экосистемную теорию эволюции, теорию нейтральной эволюции, теорию прерванного равновесия.

Итак, реальность эволюции признается подавляющим большинством теорий, а различаются они объяснением механизмов эволюции.

### Каковы основные положения эволюционной теории Ч. Дарвина?

Эволюционная теория Дарвина более 100 лет служила теоретическим основанием биологии. Научная работа Ч. Дарвина, в которой изложены основы его учения, называется «Происхождение видов путём естественного отбора» (1859). Основными положениями теории эволюции Дарвина таковы:



Ил. 119. Чарлз Дарвин (1809–1882) – выдающийся английский натуралист

- ***эволюция*** заключается в непрерывных приспособительных изменениях видов;
- основой для эволюции является ***неопределённая (наследственная) изменчивость***;
- каждый вид способен к неограниченному размножению, но этому препятствует ограниченность жизненных ресурсов, и большая часть особей гибнет в ***борьбе за существование***, то есть в процессе взаимоотношений с живой и неживой природой;
- выборочное выживание и размножение наиболее приспособленных особей является ***естественным отбором***, который считается движущей силой эволюции;
- под действием естественного отбора группы особей одного вида накапливают из поколения в поколение различные приспособительные признаки и превращаются в новые виды;
- новые породы животных и сорта растений в процессе селекции образуются под воздействием ***искусственного отбора***.

Теория эволюции Дарвина раскрыла научные основы движущих сил эволюции, и этим был утверждён исторический метод познания, который нацеливал исследователей не только на описание явлений природы, но и на объяснение их сути, установления причин явлений, этапов развития.

Таким образом, теория Дарвина, как синтез эволюционных идей своего времени, объясняет возникновение эволюционных изменений на уровне организмов, происходящих под влиянием естественного отбора.

### Каковы основные положения современной теории эволюции?

Важным этапом развития эволюционной биологии была синтетическая теория эволюции (СТЭ), сформулированная в 40-х годах XX в.

**Синтетическая теория эволюции** – *комплекс представлений, которые являются синтезом основных положений дарвинизма, генетики популяций и экологии*. Среди её основателей были такие выдающиеся биологи, как С.С. Четвериков, С.Райт, ***Ф.Г. Добжанский***, И.И. Шмальгаузен, А.Н. Северцов др. Синтетическая теория эволюции была разработана на основе представлений о мутациях как единственном источнике наследственной изменчивости, о популяции как элементарной единице эволюции и дарвиновских представлений о борьбе за существование и естественном отборе. Со времени появления СТЭ произошло много новых открытий в эволюционной биологии. Так, сформулированы учения о формах естественного отбора, путях достижения биологического прогресса, направлениях эволюции и др. Но все-таки немало эволюционных вопросов остаётся без ответов, и поэтому создание целостной теории эволюции является делом будущего. Вместе с тем, можно выделить ряд положений, являющихся основой современных эволюционных взглядов.



Ил. 120. Ф. Добжанский (1900–1975) – впервые объединил генетику и теорию эволюции

- Элементарным эволюционным материалом и единственным источником новых наследственных признаков являются ***мутации***.
- Элементарной единицей эволюции является ***популяция*** со своим генофондом, поскольку именно в ней происходят все эволюционные преобразования.
- Элементарными факторами эволюции являются ***дрейф генов***, ***популяционные волны*** и ***изоляция***. Эти факторы имеют случайный характер и являются факторами-поставщиками материала для отбора.
- Существует три вида эволюционного процесса: *микроэволюция*, *видообразование* и *макроэволюция*.
- Движущей силой эволюции является ***естественный отбор***, действующий на совокупность фенотипов популяции.
- Естественный отбор бывает *движущим*, *стабилизирующим* и *разрывающим*.
- Любая систематическая группа может либо процветать (*биологический прогресс*), либо вымирать (*биологический регресс*).
- Биологический прогресс достигается в результате эволюционных изменений организмов, которыми являются *ароморфозы*, *идиоадаптации* и *общая дегенерация*.
- Процесс эволюции является необратимым, то есть при возвращении условий окружающей среды в прежнее состояние адаптации каждый раз развиваются заново, а не воспроизводятся предыдущие.

Итак, современная теория эволюции объясняет эволюционные изменения живого, начинающиеся в популяциях и происходящее путем естественного отбора признаков, определяемых генами.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

Сопоставьте понятия эволюционной биологии с определениями и получите фамилию учёного, который является основоположником генетики популяций.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |

| | |
|---|---|
| **1** Популяция | **$Е_2$** Колебания численности как элементарный фактор эволюции |
| **2** Изоляция | **О** Форма изменчивости, являющаяся основой естественного отбора |
| **3** Естественный отбор | **К** Свободное случайное скрещивание особей популяции |
| **4** Дрейф генов | **Р** Элементарный эволюционный материал |
| **5** Волны жизни | **$В_2$** Совокупность признаков как результат взаимодействия генотипа с окружающей средой |
| **6** Мутации | **Ч** Элементарная единица эволюции |
| **7** Генофонд | **$Е_1$** Препятствия в свободном скрещивании особей как фактор эволюции |
| **8** Панмиксия | **И** Совокупность аллельных генов особей популяции |
| **9** Наследственная изменчивость | **$В_1$** Случайные изменения частоты встречаемости аллелей |
| **10** Фенотип | **Т** Выборочное выживание более приспособленных особей |



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + География

Кругосветное путешествие Ч. Дарвина на корабле «Бигль» («Ищейка») проходило в 1831–1836 гг. В результате этого путешествия было заложено эволюционное учение. Назовите и определите географическое расположение крупнейших островов, которые посетил Ч. Дарвин.






## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое теория эволюции? 2. Приведите примеры теорий эволюции. 3. Что такое теория эволюции Дарвина? 4. Что является движущими факторами эволюции по теории Дарвина? 5. Что такое синтетическая теория эволюции? 6. Какие науки легли в основу синтетической теории эволюции? |
| 7 – 9 | 7. Чем отличаются различные теории эволюции? 8. Каковы основные положения эволюционной теории Ч. Дарвина? 9. Каковы основные положения современной теории эволюции? |
| 10 – 12 | 10. Охарактеризуйте основные положения современной теории эволюции. |

*Как большой художник, живая природа умеет и незначительными средствами достигать великих эффектов.*
*Г. Гейне*

## § 45. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ

**Основные понятия и ключевые термины:** **ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ. Элементарные факторы эволюции. Движущие факторы эволюции.**

**Вспомните!** Что такое синтетическая теория эволюции?

### Знакомьтесь!

*Божья коровка двухточечная* (*Adalia bipunctata*) имеет две формы – чёрную и красную. Учёные изучали соотношение красных и чёрных форм и установили, что осенью в популяциях преобладает красная форма. Красные божьи коровки лучше размножаются. Весной в большом количестве встречаются чёрные божьи коровки: они лучше зимуют. Оказалось, что окраска связана с обменом веществ. Чёрные – более холодоустойчивы, а красные – плодовитее.





### СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы современные представления о факторах эволюции?

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ – *это внешние и внутренние воздействия, приводящие к эволюционным изменениям организмов и сообществ*. Согласно современным эволюционным взглядам факторы эволюции разделяют на движущие и элементарные. Движущие факторы эволюции имеют направленный закономерный характер, а элементарные – являются факторами-поставщиками эволюционного материала и создают условия протекания эволюционных изменений.

| Факторы эволюции | |
|---|---|
| **движущие** | **элементарные** |
| Наследственная изменчивость<br>Естественный отбор | Волны жизни<br>Дрейф генов<br>Изоляция |

Современными экологическими исследованием установлено, что: а) на каждом уровне организации живого есть свои факторы эволюции; б) все экологические факторы, если они действуют с постоянной интенсивностью или последняя периодически изменяется, являются одновременно факторами эволюции; в) в отношении популяции как единицы эволюции различают внутривидовые (миграции, волны жизни) и межвидовые (симбиоз, конкуренция, выедание и др.) эволюционные факторы.

Итак, факторы эволюции разделяют на движущие и элементарные.

### Какое значение имеют элементарные факторы эволюции?

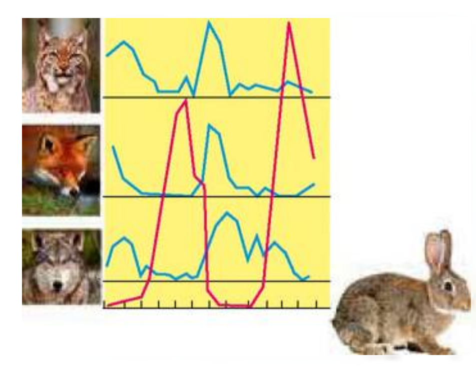
**Элементарные факторы эволюции** – *это воздействия, вызывающие эволюционные изменения биосистем и имеющие ненаправленный случайный характер*. К этой группе относятся дрейф генов, популяционные волны и изоляция.

**Изоляция** – *возникновение любых препятствий, нарушающих свободное скрещивание и обмен наследственной информацией*. Основные

формы изоляции – географическая и экологическая. Географическая изоляция – это следствие разграничения различных популяций одного вида физическими барьерами (горами, реками и др.). Экологическая изоляция связана с разграничением различных популяций одного вида различными экологическими условиями среды обитания (например, растения луговых трав определённого вида могут цвести в разное время, в зависимости от весеннего половодья). Изоляция как эволюционный фактор закрепляет и усиливает образованные в популяциях генотипические отличия.

**Волны жизни, или популяционные волны,** – *периодические или непериодические случайные колебания численности популяций* (*ил. 121*). Данный термин впервые был введён С.С. Четвериковым в 1905 г.

Эволюционное значение популяционных волн заключается в том, что они способствуют изменению частоты аллелей и генотипов. В случае резкого сокращения численности популяции особи, которые случайно остались живыми, могут иметь редкие генотипы.



Ил. 121. Волны жизни хищников и жертвы

**Дрейф генов (генетический дрейф)** – *случайное и ненаправленное изменение частот встречаемости аллелей в популяции.* Эффект генетического дрейфа наибольший в небольших популяциях. Изменения, обусловленные генетическим дрейфом, могут быть полезными, нейтральными или вредными. Дрейф генов может приводить к распространению рецессивных мутантных аллелей, не предусмотренных естественным отбором.

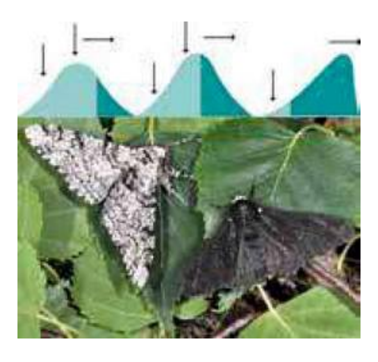
Итак, элементарными факторами эволюции являются дрейф генов, волны жизни и изоляция.

### Какое значение имеют виды естественного отбора?

**Движущие факторы эволюции** – *факторы, которые направляют различные элементарные изменения, возникшие в результате мутаций, в сторону формирования приспособлений организмов к изменениям условий окружающей среды.* Движущей силой эволюции является естественный отбор как следствие борьбы за существование в различных её формах. Борьба за существование – сложные и разнообразные отношения особей внутри видов, между видами и с неорганической природой.

**Естественный отбор** – *процесс, в результате которого выживают и оставляют после себя потомство преимущественно особи с полезными в данных условиях наследственными изменениями.* Этот фактор эволюции всегда имеет направленный характер, совершенствует приспособления к условиям существования, действует на все организмы в любом возрасте. В зависимости от направления адаптационных изменений естественный отбор может быть движущим, стабилизирующим и разрывающим.

***Движущий отбор*** *вызывает постепенное изменение фенотипа, ведёт к изменению нормы реакции в одном определённом направлении.* Осуществляется в новых условиях в пользу изменений, имеющих в этих условиях благоприятный характер. С движущим отбором связано появление новых приспособлений. Примером действия движущего отбора является индустриальный меланизм у бабочек берёзовой пяденицы (*ил. 122*).



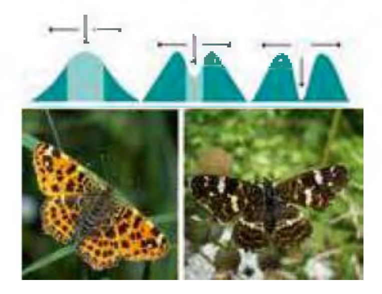
Ил. 122. Схема действия движущего отбора

***Стабилизирующий отбор*** *особей сопровождается при постоянном фенотипе сужением нормы реакции и ликвидирует отклонения от неё.* Теорию стабилизирующего отбора разработал украинский учёный ***И.И. Шмальгаузен*** (1941–1946). Эта форма отбора проявляется при устойчивых экологических условиях. Стабилизирующий отбор обеспечивает поддержание постоянства определённого фенотипа, который наиболее соответствует среде, и отвергает любые менее приспособительные изменения. Действие стабилизирующего отбора иллюстрируют такие виды организмов, как латимерия (*ил. 123*) и гаттерия. Эти реликтовые формы сохранили неизменные признаки далёких предков, живших десятки миллионов лет назад. Примером действия стабилизирующего отбора также является сохранение обтекаемой формы тела у рыб, размеров частей цветка.



Ил. 123. Схема действия стабилизирующего отбора

***Разрывающий отбор*** *приводит к появлению нескольких фенотипов и направлен против средних промежуточных форм.* Разрывающий (дизруптивный) отбор проявляется тогда, когда условия среды настолько изменились, что основная масса вида утрачивает адаптивность, а преимущественными становятся особи с крайними отклонениями от средней нормы. Эта форма отбора приводит к полиморфизму – существованию в пределах популяции двух или нескольких форм с резко отличными признаками (например, красная и чёрная формы коровки двухточечной). Примерами действия разрывающего отбора является возникновение популяций насекомых с длинными крыльями и без крыльев на островах, где постоянно дует сильный ветер, весенней (светлой) и летней (тёмной) форм бабочки пестрокрыльница изменчивая (*ил. 124*).



Ил. 124. Схема действия разрывающего отбора

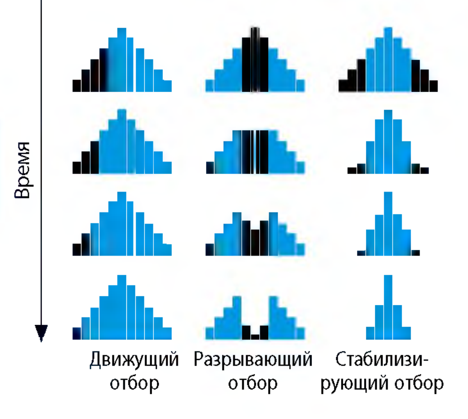
Итак, естественный отбор направляет различные изменения фенотипов, возникших вследствие мутаций, в сторону формирования приспособлений организмов к изменениям условий окружающей среды. В этом и заключается творческая роль естественного отбора, и поэтому его называют движущей силой эволюции.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Заполните таблицу «Формы естественного отбора». Чем отличаются и что общего между различными видами естественного отбора?

| Признак | Отбор | | |
|---|---|---|---|
| | стабилизирующий | движущий | разрывающий |
| Условия действия среды | | | |
| Влияние на фенотип | | | |
| Результат | | | |
| Пример | | | |




### Биология + Экология



Классическим примером действия «эффекта бутылочного горлышка» являются изменения популяций гепардов (*Acinonyx jubatus*), численность которых в настоящее время сокращается и насчитывает менее 20 тысяч особей. Сегодня этот вид имеет незначительное генетическое разнообразие. У гепардов повышенная уязвимость к заболеваниям, наблюдаются отклонения, приводящие к снижению плодовитости, очень высокий уровень детской смертности (до 70 % детенышей не доживают до одного года) и др. Что такое «эффект бутылочного горлышка» (англ. *population bottleneck*)?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Информатика

**Фактор** – понятие, производное от понятия *поступать, действовать*, то есть *то, что делает, оказывает влияние*. В информатике такие факторы называют драйверами (от англ. *driver* – двигатель). Это компьютерная программа, с помощью которой операционная система получает доступ к прибору аппаратного обеспечения. Найдите аналогию между движущими факторами эволюции и драйверами в работе компьютера.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое факторы эволюции? 2. Назовите две группы факторов эволюции. 3. Что такое элементарные факторы эволюции? 4. Назовите элементарные факторы эволюции. 5. Что такое движущая сила эволюции? 6. Укажите название главной движущей силы эволюции. |
| 7 – 9 | 7. Каковы современные представления о факторах эволюции? 8. Какое значение имеют элементарные факторы эволюции? 9. Каковы значение и виды естественного отбора? |
| 10 – 12 | 10. Чем отличаются и что общего между различными видами естественного отбора? |

*Эволюцию осуществляют определённые «рабочие силы» (факторы эволюции), которые «из строительного материала» (различных мутаций) на «строительной площади» (в популяциях) строят бесконечные конструкции приспособлений.*

*Из учебника «Эволюционное учение»*

# § 46. ПОПУЛЯЦИЯ. МИКРОЭВОЛЮЦИЯ. ВИД. ВИДООБРАЗОВАНИЕ

**Основные понятия и ключевые термины:** ПОПУЛЯЦИЯ. Микроэволюция. Приспособление. ВИД. Видообразование.

**Вспомните!** Что такое теория эволюции?

### Ваше мнение

В горных лесах Украины популяции белки обыкновенной имеют тёмную окраску, а популяции белки равнинных лесов – рыжую. По вашему мнению, почему?





### СОДЕРЖАНИЕ

**Почему популяция является элементарной единицей эволюции?**

ПОПУЛЯЦИЯ (лат. *populatio* – население) – *это совокупность особей одного вида организмов, которые на протяжении многих поколений существуют в пределах определённой территории, свободно скрещиваются и относительно изолированы от других популяций вида*. Условия жизни в пределах ареала вида неодинаковы в разных участках, что приводит к возникновению различий между группами особей и формированию популяций. Главный фактор, объединяющий особи в популяциях, – свободное скрещивание (панмиксия). Особи разных популяций также могут скрещиваться, но этому, как правило, препятствуют географические (например, реки, горы) и биологические (например, разное время размножения) факторы.

Почему же популяции являются единицей эволюции, а не отдельная особь, как считал Дарвин? Одна особь того или иного вида не способна эволюционировать, поскольку её набор генов не изменяется на протяжении жизни. В современном эволюционном учении именно популяции рассматриваются как «строительная площадка», арена эволюционных событий (*ил. 125*). Это объясняется тем, что:



Ил. 125. Полесская популяция зубров

- популяция благодаря наследственной изменчивости состоит из особей, отличающихся по генотипу;
- в популяции постоянно действуют факторы, изменяющие соотношение частоты генотипов и аллельных генов (генетическую структуру);
- в популяции постоянно существуют взаимосвязи между особями и окружающей средой, благодаря чему выживают и дают потомство только особи с полезными в данных условиях изменениями.

Для осуществления эволюционных изменений необходимо наличие трёх процессов: мутационного (появление новых разнообразных признаков), рекомбинантного (создание новых сочетаний признаков) и селекционного (отбор полезных для жизни особей признаков), происходящих именно в популяциях. Благодаря этим процессам происходит элементарное эволюционное явление, то есть существенное и необратимое изменение генофонда популяции на длительный период.

Итак, именно популяции, а не отдельные особи являются элементарными единицами эволюции.

**Что является результатом микроэволюционных изменений?**

*Эволюционные процессы в пределах популяций, которые завершаются формированием приспособленности организмов и образованием новых популяций и подвидов, называются* **микроэволюцией.** Движущий фактор эволюционных изменений в популяциях – естественный отбор, а материал для микроэволюционных изменений – мутации. Естественный отбор направляет разные элементарные изменения фенотипов, возникших в результате мутаций, в сторону формирования адаптаций организмов к изменениям условий окружающей среды.

**Адаптации** – *приспособления строения, функций, поведения организмов к определённым условиям существования.* Адаптации возникают в процессе эволюции на основе нейтральных *мутаций* или *модификаций*. Новые приспособления появляются не сразу в готовом виде, а длительное время формируются в процессе эволюции. Любая совокупность адаптации помогает организмам выжить лишь в тех условиях, в которых она сформировалась под влиянием факторов эволюции.

Микроэволюция обеспечивает формирование различных адаптаций:

- *мимикрия* – сходство между незащищёнными и защищёнными видами (например, осовидные бабочки и осы, шмелевидные мухи и шмели) (*ил. 126*);
- *маскировка* – сходство с предметами окружающей среды (например, морской конёк с водорослями) (*ил. 127*);
- *защитная окраска* помогает спрятаться в окружающей среде (например, белая окраска полярных куропаток);
- *предупреждающая окраска* указывает на опасность данного вида (например, красный цвет божьей коровки указывает на ядовитость);
- *привлекательная окраска* обеспечивает встречу особей разных полов (например, яркая окраска самца иволги).



Ил. 126. Мимикрия мухи журчалки осовидной



Ил. 127. Маскировка морского конька

Итак, результатом микроэволюции является формирование адаптаций и появление новых популяций.

## Как происходит образование видов в природе?

**ВИД** – *совокупность особей, характеризующихся наследственным сходством признаков, которые свободно скрещиваются и дают плодовитое потомство, приспособлены к определённым условиям жизни и занимают в природе определённую область – ареал.* Видовую самостоятельность определённой группы особей устанавливают по различным критериям вида: морфологический (сходство особей по строению), генетический (характерный для каждого вида набор хромосом по количеству, форме и размерам), физиологический (сходство и отличия в процессах жизнедеятельности), биохимический (особенности строения и состава макромолекул, течения определённых биохимических реакций), географический (общность территории распространения), экологический (приспособленность к условиям существования) и др. Как же возникают новые виды?

**Видообразование** – *это направленный естественным отбором эволюционный процесс адаптивных преобразований, который ведёт к образованию генетически закрытых видовых систем из генетически открытых внутривидовых.* Начинается видообразование на уровне популяций. Новые виды чаще всего возникают от одной предковой группы близкородственных организмов путём расхождения признаков у родственных организмов (дивергенции). Необходимым условием видообразования является изоляция, в зависимости от особенностей которой различают географическое и экологическое видообразование.

***Географическое видообразование*** – *это формирование новых групп в результате изменения ареала при географической изоляции.* Происходит путём разрыва сплошного ареала на части (например, образование различных видов вьюрков на разных островах Галапагосского архипелага) или расширение ареала и отбор в новых условиях; например, образование видов медведь бурый (*Ursus arctos*) и медведь белый (*Ursus maritimus*) (*ил. 128*).





Ил. 128. Медведь бурый и медведь белый

***Экологическое видообразование*** – *это формирование новых групп в рамках существующего ареала при экологической изоляции.* Происходит в результате действия новых сезонных условий (например, образование видов погремок большой весенний и погремок большой летний), в результате скрещивания между особями родственных видов (например, мята перечная – гибрид мяты колосовидной и мяты водяной), за счёт полиплоидных мутаций (например, исходный вид двузернянка имеет $2n = 14$, вид твёрдая пшеница – $4n = 28$, а мягкая пшеница – $6n = 42$) или соединением систематически отдалённых организмов (например, различные виды лишайников – результат симбиоза грибов и водорослей).



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

Сравните географическое и экологическое видообразование.

| Признак | Видообразование | |
|---|---|---|
| | географическое | экологическое |
| С какими территориями связано? | | |
| Какие формы изоляции действуют? | | |
| Какими путями осуществляются? | | |
| Примеры | | |

### Биология + Экология

Сопоставьте и определите значение адаптации у изображённых животных. Почему для адаптаций свойственна относительная целесообразность?














| | |
|---|---|
| **1** Угрожающая поза жука-бомбардира | **А** Мимикрия |
| **2** Окраска жалящих насекомых (осы, пчёлы) | **Б** Маскировка |
| **3** Зимняя окраска у зайцев-беляков | **В** Защитная окраска |
| **4** Бабочка-калима с узором глаз совы | **Г** Предупреждающая окраска |
| **5** Сходство палочника с веточками | **Д** Угрожающее проявление поведения |
| **6** Окраска самца мандаринки | **Е** Привлекательная окраска |

| I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Селекция



Слива домашняя (*Prunus domestica*) с набором хромосом $6n = 48$ появилась ещё в доисторические времена путем гибридизации Тёрна (*Prunus spinosa*, $4n = 32$) с алычой (*Prunus divaricata*, $4n = 16$). Почему слива домашняя является видом? Оцените значение видообразования в природе и для человека.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое популяция? 2. Назовите основные характеристики популяций. 3. Что такое микроэволюция? 4. Приведите примеры адаптации к условиям среды. 5. Что такое вид? 6. Назовите способы видообразования. |
| 7 – 9 | 7. Почему популяция является элементарной единицей эволюции? 8. Каковы результаты микроэволюции? 9. Как происходит образование видов в природе? |
| 10 – 12 | 10. Сравните географическое и экологическое видообразование. |

***Non progredi est regredi***
***(Не идти вперед, значит, идти назад).***
*Латинское изречение*

# § 47. МАКРОЭВОЛЮЦИЯ

**Основные понятия и ключевые термины: МАКРОЭВОЛЮЦИЯ. Биологический прогресс. Биологический регресс.**

**Вспомните!** Что такое синтетическая теория эволюции? Что такое геном?

## Знакомьтесь



*Зяблики Дарвина*, или *галапагосские зяблики* (или вьюрки), – группа птиц семейства Овсянковые ряда Воробьинообразные. Известны тем, что именно виды этой группы Чарлз Дарвин собрал в 1835 г. во время поездки к Галапагосским островам. Новые виды происходят от общего материкового вида и в процессе эволюции стали отличаться друг от друга по размеру и форме клюва, что дало им возможность занимать различные экологические ниши. Как в эволюционной биологии называют эту форму эволюции?

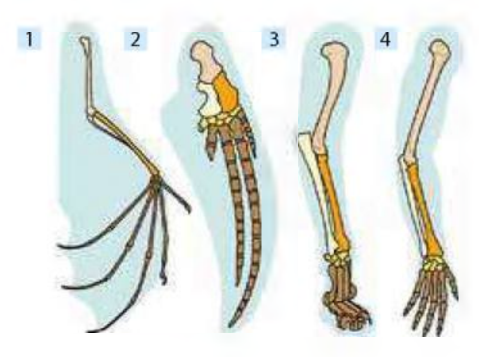


## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы особенности и формы макроэволюции?

**МАКРОЭВОЛЮЦИЯ** – *эволюционный процесс, приводящий к возникновению надвидовых групп*. В отличие от микроэволюции, которая происходит в исторически короткое время и доступна для непосредственного изучения, макроэволюция продолжается на протяжении долгих грандиозных промежутков времени и недоступна для непосредственного наблюдения.

**Дивергенция** (от. лат. *diverto* – удаляюсь) – *развитие признаков различия у особей одного вида в результате приспособления к различным условиям среды*. Отличие признаков, возникающее в результате этого явления, называется *гомологией*. *Гомологичные органы* – это органы, сходные по строению и происхождению, но выполняющие различные функции (например, конечности кита, кошки и человека (*ил. 129*), корневище пырея и клубни картофеля. Пример дивергентной эволюции – появление рядов млекопитающих от общего предка.




Ил. 129. Гомология передних конечностей позвоночных: 1 – летучей мыши; 2 – кита; 3 – кошки; 4 – человека




Ил. 130. Аналогичные органы: 1 – крылья птицы; 2 – крылья бабочки; 3 – крылья летучей мыши

**Конвергенция** (от. лат. *convergo* – сближаюсь) – *независимое развитие сходных признаков у*

*филогенетически отдалённых организмов вследствие приспособления их к подобным условиям среды*. Сходство признаков, возникающее в результате этого явления, называется *аналогией*. *Аналогичные органы* – это органы, выполняющие подобные функции, но не имеющие общего плана строения и происхождения. Пример конвергентной эволюции – появление крыльев у разных животных (*ил. 130*).



Ил. 131. Параллелизм тюленей (1), котиков (2) и моржей (3)

**Параллелизм** (от. греч. *parallelos* – тот, что движется рядом) – *независимое развитие сходных признаков у родственных систематических групп организмов*. Сходство признаков, возникающее в результате этого явления, называется *гомойологиею* (например, сходство формы тела у ластоногих) (*ил. 131*).

Итак, основными формами макроэволюции являются дивергенция, конвергенция и параллелизм.

**Каковы основные направления макроэволюции?**

Изучая закономерности исторического развития животных, А. Н. Северцов в 20-х годах XX в. разработал понятия «биологический прогресс» и «биологический регресс».

**Биологический прогресс** – *направление эволюции, при котором рождаемость в популяции преобладает над смертностью*. Признаками биологического прогресса являются рост численности особей, расширение площади существования, повышение темпов внутривидовой изменчивости, образование и большое количество подчинённых систематических групп, высокий потенциал выживания. На сегодня в состоянии биологического прогресса находятся покрытосеменные, головоногие моллюски, насекомые, птицы, млекопитающие.

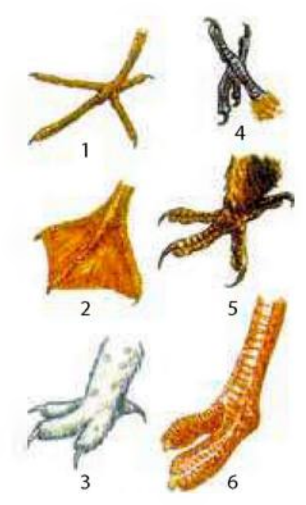
**Биологический регресс** – *направление эволюции, при котором смертность в популяции преобладает над рождаемостью*. Признаками биологического регресса являются уменьшение численности особей, сужение площади существования, снижение темпов внутривидовой изменчивости, уменьшение разнообразия группы, низкий потенциал выживания. На сегодня в состоянии биологического регресса находятся виды, занесённые в Красную книгу.

Итак, основными направлениями макроэволюционных изменений являются биологический прогресс и биологический регресс.

**Каковы пути достижения биологического прогресса?**

В ходе эволюции сочетаются и закономерно сменяют друг друга различные пути достижения биологического прогресса, каковыми являются ароморфозы, идиоадаптации и общая дегенерация.

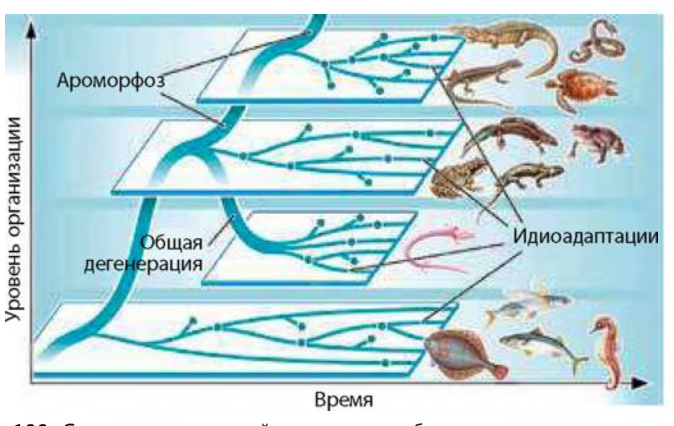
***Ароморфозы*** (*морфофизиологический прогресс*) – эволюционные изменения, повышающие уровень организации организма в целом и открывающие новые возможности для приспособления к различным условиям существования. Примеры ароморфных эволюционных изменений – возникновение кровеносной системы у кольчецов, появление сердца у моллюсков, челюстей у рыб, семян у семенных растений, образование цветка и плода у покрытосеменных и др.



Ил. 132. Идиоадаптационное разнообразие конечностей птиц: 1 – цапля; 2 – утка; 3 – куропатка; 4 – дятел; 5 – орел; 6 – страус

***Идиоадаптации*** – эволюционные изменения, имеющие характер приспособления к определённым условиям и не изменяющие уровень организации организмов. Пример идиоадаптивных изменений – разнообразное строение цветков или плодов покрытосеменных, конечностей у птиц или млекопитающих (*ил. 132*).

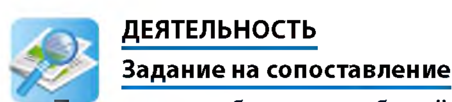
***Общая дегенерация*** (*морфофизиологический регресс*) – явление упрощения организмов в процессе эволюции. Пример общедегенеративных изменений – исчезновение у паразитов органов чувств, пищеварительной системы и др.



Ил. 133. Соотношение путей достижения биологического прогресса

В истории развития органического мира разные пути эволюции взаимосвязаны (*ил. 133*). Ароморфозы определяют этапы в развитии органического мира, поднимают организацию группы на высший уровень эволюции и открывают перед ним новые возможности для освоения среды. Дальнейшее развитие идет путём идиоадаптаций, обеспечивающих освоение доступного разнообразия условий. При переходе организмов в условия попроще формирование приспособлений сопровождается упрощением строения.

Итак, основными путями достижения биологического прогресса являются ароморфозы, идиоадаптации и общая дегенерация.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

Заполните таблицу в рабочей тетради.

**ПРИЗНАКИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА И БИОЛОГИЧЕСКОГО РЕГРЕССА**

| Признак | Биологический | |
|---|---|---|
| | прогресс | регресс |
| Количество особей (увеличивается или уменьшается) | | |
| Площадь существования (сужается или расширяется) | | |
| Темпы внутривидовой изменчивости (растут или падают) | | |
| Количество подчинённых систематических групп (увеличивается или уменьшается) | | |

### Задание на применение знаний

Каков характер таких эволюционных событий (ароморфозы, идиоадаптации или общая дегенерация): *1) появление плавников у рыб; 2) преобразование плавательного пузыря и лёгких; 3) редукция пищеварительной системы у ленточных червей; 4) преобразование плавников рыб на пятипалые конечности амфибий; 5) появление острых когтей у хищных птиц; 6) появление белой окраски у полярных животных; 7) появление цветка; 8) появление полового процесса; 9) появление многоклеточности; 10) исчезновение корней у повилики?*

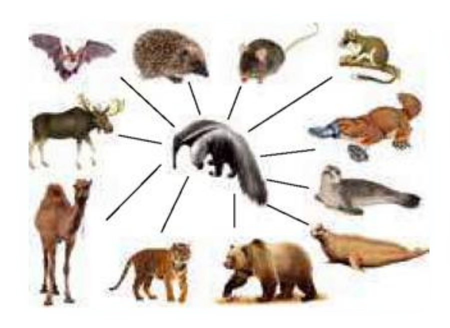
Назовите ароморфозы насекомых, млекопитающих, покрытосеменных, которые в современном органическом мире являются прогрессирующими группами.



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Этимология

Примером адаптивной радиации может быть разнообразие плацентарных млекопитающих, имеющих общего предка (в центре иллюстрации). Рассмотрите рисунки разных млекопитающих на иллюстрации, укажите их названия и среду обитания. А что такое адаптивная радиация? Каково происхождение слов в этом биологическом термине?





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое макроэволюция? 2. Приведите определения понятий: *дивергенция, конвергенция, параллелизм*. 3. Что такое биологический прогресс? 4. Что такое биологический регресс? 5. Назовите основные пути макроэволюции. 6. Приведите примеры ароморфозов, идиоадаптаций и общей дегенерации. |
| 7 – 9 | 7. Каковы особенности и формы макроэволюции? 8. Каковы основные направления макроэволюции? 9. Как соотносятся основные пути макроэволюции? |
| 10 – 12 | 10. Сравните биологический прогресс и биологический регресс. |

*Скажите мне, волны, что есть человек?*
*Откуда пришёл он? Куда пойдёт?*
*И кто над нами на звёздах живёт?*
*Г. Гейне. Книга песен. Вопросы*

# § 48. ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА

**Основные понятия и ключевые термины: ЧЕЛОВЕК РАЗУМНЫЙ. Антропогенез. Эволюционная биология.**

**Вспомните!** Что такое эволюция?

**Подумайте!**



«Откуда мы пришли? Кто мы? Куда мы идём?» (1897–1898) – картина французского художника Поля Гогена (1848–1903), одно из наиболее знаменитых его творений. Созданная на Таити, хранится в Музее изящных искусств в Бостоне, США. Кто же такой человек?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы особенности человека как биосоциального вида?

Все современные люди, проживающие на Земле, относятся к одному виду – Человек разумный, латинское название которого *Homo sapiens*. Этот вид рассматривается как совокупность популяций, соединённых генным потоком между собой, дающих плодовитое потомство, занимающих определённый ареал, имеющих приспособления к условиям жизни и общее происхождение.

Человек – биологическое существо, поскольку у него такие же особенности, что и у всех других организмов. Это генетический код, клеточное строение, процессы жизнедеятельности, обмен веществ, энергии и информации и др. В системе органического мира Человек разумный как биологический вид относится к млекопитающим в пределах типа Хордовые. У человека, как и у всех хордовых, есть хорда, жаберные щели в глотке, нервная трубка (в зародышевом развитии) и др. Как и все млекопитающие, человек имеет дифференцированные зубы, диафрагму, четырёхкамерное сердце, он теплокровен, вскармливает малышей молоком и др.

Человек – общественное существо, наделённое сознанием, членораздельной речью, второй сигнальной системой, абстрактным мышлением и высоким уровнем умственной деятельности. Он характеризуется умением создавать разнообразные орудия труда для изготовления орудий труда. Благодаря способности концентрировать и передавать накопленный опыт следующим поколениям у человека формируется культура (лат. *cultura* – уход, образование) – совокупность всех материальных и духовных ценностей человечества.

Основные отличия человека от других организмов связаны с *трудовой деятельностью*, *прямохождением* и *речью*. Так, у человека мозг имеет большие относительные размеры (около 2% от массы тела),

большую *поверхность полушарий* большого мозга (около 1 250 см$^2$), доминирует мозговой отдел черепа, слабое развитие надбровных дуг, развитый *подбородочный выступ*, позвоночник имеет характерные *4 изгиба*, грудная клетка уплощена спереди назад, таз расширен, сводчатая стопа, развитый большой палец и др.

Итак, **ЧЕЛОВЕК РАЗУМНЫЙ** – биосоциальный вид, у организмов которого имеются биологические особенности, указывающие на единство с живой природой, и социальные особенности, которые отличают человека от других организмов.

### Каковы особенности и факторы эволюции человека?

Ныне в обществе существуют различные теории происхождения человека. Назовём некоторые из них: *божественная теория* (теория разумного создания, или Разумного замысла), *теории Внеземного вмешательства*, *симиальная* (от. лат. *sima* – обезьяна) *теория* и др. В современной науке доминируют взгляды относительно антропогенеза, который произошёл под влиянием эволюционных факторов.

Происхождение человека качественно отлично от видообразования в животном мире. Эволюция человека происходила не только под влиянием биологических, но и социальных факторов. В формировании особенностей человека определяющую роль сыграли прямохождение, труд, язык и общественный образ жизни. Эволюция человека на современном этапе направляется действием социальных движущих сил антропогенеза. Однако влияние биологических факторов не прекращается. Так, в результате действия *естественного отбора* у человека вырабатывается устойчивость к инфекционным болезням, действует *мутационный процесс*, в результате межрасовых браков происходит генный поток и др.

Итак, антропогенез – процесс возникновения и формирования человека в процессе эволюции, происходивший под влиянием биологических и социальных факторов.

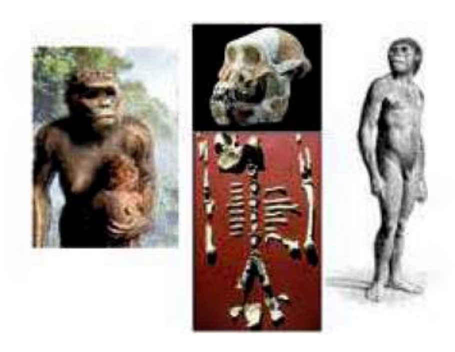
### Каковы основные этапы эволюции человека?

**Эволюционная антропология** (от греч. *антропос* – человек, *логос* – наука) – *наука, изучающая происхождение и историческое развитие человека*. Эта наука ищет ответы на вопросы «как?», «когда?» и «где?» возникло человечество. Согласно современным эволюционным взглядам линия человека отделилась в процессе длительной эволюции от обезьяноподобных предков не ранее чем 10 млн лет назад. А родиной человечества большинство учёных называет Африканский континент.

Древнейшим обезьяноподобным предком человека сегодня считается ***Ардипитек коренной*** (*Ardipithecus ramidus*), который жил приблизительно 4,4 млн лет назад.

Антропологам удалось собрать практически целый череп, пояс и скелет нижней конечности, скелет верхней конечности ардипитека. Сегодня ардипитека считают непосредственным предшественником австралопитеков, от которых и начался род *Homo*. ***Австралопитеки*** – обезьяноподобные предки, которым было присуще прямохождение.

Они жили на открытых пространствах, где занимались охотой, сбором растительной пищи, не отказывались от остатков животных, которые были добычей крупных хищников. В настоящее время описано несколько видов австралопитеков, среди которых самые древние – австралопитек анаменский, австралопитек афарский (к этому виду относятся остатки известной среди антропологов Люси) (*ил. 134*) австралопитек африканский.



Ил. 134. Австралопитек афарский

***Человек умелый*** (*Homo habilis*) – древнейший вид рода Человек, появившийся в Восточной Африке около 2,4 млн лет назад. Именно Человек умелый или одна из его разновидностей считаются в настоящее время наиболее вероятными предками всех позднейших представителей человека. И именно эту дату можно полагать началом эволюции человека.

***Человек прямоходящий*** (*Homo erectus*, устаревшее название – *архантропы*) – ископаемый вид, который рассматривают как непосредственного предшественника современного человека. Считается, что эти люди появились в Восточной Африке, эволюционировали от Человека рудольфского и через Ближний Восток (Человек грузинский) широко заселили Евразию до Китая (Человек юаньмоуский, или синантропы). К этому виду относят и питекантропов (жили в Юго-Восточной Азии), гейдельбергских людей (жили в Европе и Западной Азии), Человека флоресского (обнаружен в Индонезии и назван «хоббитом» по аналогии с существами, придуманными Дж. Р. Толкином).

***Человек неандертальский*** (*Homo neanderthalensis*, устаревшее название – *палеонтропы*) назван так потому, что первые остатки были найдены в 1856 г. в пещере в долине Неандерталь в Германии. Для неандертальцев характерны низкий скошенный лоб, сплошной надбровный валик, недоразвитый подбородочный выступ, большие зубы. Пользовались каменными орудиями, умели добывать огонь, поселялись на побережьях рек, жили под естественными навесами или в пещерах, умели говорить, хотя их речь была медленной. Неандертальцы хоронили своих умерших.

**Кроманьонский человек** (*Homo sapiens*, другое название – *неантропы*) назван так потому, что первый скелет был найден в 1868 г. в пещере Кро-Маньон в департаменте Дордонь во Франции. Новые открытия молекулярной биологии указывают на то, что первые кроманьонцы появились около 100 тыс. лет назад. Это были высокие, могучего телосложения люди, у которых не было сплошного надбровного валика, был подбородочный выступ, что свидетельствует о развитии речи. Жили в пещерах, носили одежду, создавали наскальные рисунки, гравюры, скульптуры, украшения и музыку. Отличались от своих современных потомков лишь немного большим объёмом мозга и более

крепким телосложением. Занимались охотой на крупных бизонов, мамонтов, оленей, медведей и диких лошадей.

Итак, эволюция человека, как и эволюция многих видов, происходила в несколько этапов.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Биология + Латынь

Определите место Человека разумного в системе органического мира. Для этого переведите латинские названия и запишите в таблице в рабочей тетради украинские названия основных систематических категорий.

| Место человека в системе органического мира | |
|---|---|
| **Латинское название** | **Украинское название** |
| *Regnum Animalia* | |
| *Phylum Chordata* | |
| *Classis Mammalia* | |
| *Ordo Primates* | |
| *Familia Hominidae* | |
| *Genus Homo* | |
| *Species Homo sapiens* | |

### Биология + Поэзия

У Лины Костенко есть замечательный стих, из которого мы приводим строки:

*Пожалуй, ещё человечество очень молодо.*
*Ведь сколько бы мы не загибали пальцы, –*
*XX век! – но до сих пор кое-где*
*случаются ещё неандертальцы.*

Кто такие неандертальцы? Какие признаки неандертальцев проявляются среди современных людей и почему?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Искусство



В департаменте Дордонь на юго-западе Франции есть пещера, известная остатками доисторического человека, найденными там в 1868 г. французским палеонтологом *Луи Ларте*. Были найдены и украшения, в том числе жемчужины и зубы животных в кулонах и ожерельях, что свидетельствует о первобытном искусстве. Пещера дала название всем людям эпохи верхнего палеолита. О каких людях идёт речь? Каково значение искусства в эволюции человека?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Кто такой Человек разумный? 2. Приведите примеры биологических и социальных особенностей Человека разумного. 3. Что такое антропогенез? 4. Назовите факторы эволюции человека. 5. Что такое эволюционная антропология? 6. Назовите основные этапы становления человека. |
| 7 – 9 | 7. Каковы особенности человека как биосоциального вида? 8. Каковы особенности и факторы эволюции человека? 9. Каковы основные этапы эволюции человека? |
| 10 – 12 | 10. Докажите влияние биологических и социальных факторов на эволюцию человека. |

*Всё идет, всё проходит – и края нет.*
*Куда ж оно делось? Откуда взялось?*
*Т. Шевченко. Гайдамаки*

# § 49. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ

**Основные понятия и ключевые термины:** **Предбиологическая эволюция. Биологическая эволюция.**

**Вспомните!** Что такое эволюция?

**Подумайте!**

Удивительной планетой Солнечной системы является Земля. Её расположение в системе таково, что она получает достаточно тепла и света, имеется много воды в жидком состоянии, давление у поверхности таково, что могут формироваться слои атмосферы, в составе литосферы содержит различные химические элементы. И что самое важное, все три геологические оболочки Земли связаны обменными процессами, что создаёт благоприятные условия для жизни. Как возникла жизнь при таких условиях?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы мировоззренческие и научные взгляды на происхождение жизни?

Происхождение жизни – одна из трёх важнейших мировоззренческих проблем наряду с проблемами происхождения нашей Вселенной и происхождения человека.

Гипотез происхождения жизни на сегодняшний день существует много, но в случае каждой из них возникает вопрос о том, какими были первые простейшие живые системы. Общепризнанными свойствами самых примитивных биосистем учёные называют наличие макромолекул (белков, полисахаридов и нуклеиновых кислот) и тех свойств, которые реализуются с их помощью, а именно открытость, упорядоченность, обмен веществ и энергии, саморегуляция, самовоспроизведение и самообновление.

Как могли появиться такие биосистемы на Земле? В современном обществе существуют разные взгляды. Жизнь возникла благодаря божественному созданию (***гипотезы креационизма***), жизнь возникала неоднократно из неживого вещества (***гипотеза спонтанного зарождения***), жизнь существовала всегда (***гипотеза стационарного состояния***), жизнь занесена на нашу планету извне (***гипотеза панспермии***), жизнь эволюционировала на Земле из неживой природы (***гипотеза биохимической эволюции***) и др.

Современные научные взгляды о происхождении жизни можно представить в виде следующих положений.

- Жизнь возникла на Земле миллиарды лет назад из неорганической природы в два этапа: химической, или предбиологической, эволюции (абиогенез) и биологической эволюции (биогенез).
- В настоящее время живое происходит от живого. Повторное возникновение жизни на Земле невозможно.

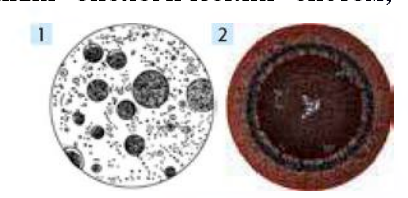
Итак, в обществе существуют разнообразные взгляды на происхождение жизни, а в науке доминируют эволюционные взгляды.

### Каковы основные этапы предбиологической эволюции жизни?

**Предбиологическая (химическая) эволюция** – *это процесс абиогенного синтеза макромолекул и образования первобытных биологических систем.* Этот процесс происходил в течение миллиардов лет в специфических условиях под действием внешних источников энергии. Существует не менее трёх гипотез об условиях, при которых возникла жизнь: в горячих источниках у подножия вулканов (подтверждением служат находки архей в источниках Йеллоустонского национального парка, США), подо льдом (находки органических соединений в Гренландии), на мелководье тёплых морей. Интересна оценка источников энергии первобытной Земли, используемой для синтеза органических соединений. Учёные называют солнечную энергию на первом месте, далее – энергия глубин земной коры, тепло вулканического происхождения и электрические разряды.

Образование распространённых в живой природе органических соединений происходило по этапам.

1. Абиогенный синтез органических мономеров (аминокислот, моносахаридов и др.).
2. Синтез органических полимеров и липидов. Существует несколько гипотез для объяснения этих событий. Например, термическая гипотеза С. Фокса (из смеси аминокислот при 180 – 200 °С получали протеиноиды), гипотеза адсорбции Д. Бернала (синтез полимеров, для которых катализаторами служили ионы металлов, а матрицей – частички пористой глины).
3. Образование органических систем (скоплений соединений, отделённых от воды поверхностью раздела), которые могли расти, распадаться и соединятся. Такие системы получают в лабораторных условиях, и их иллюстрируют такие понятия, как «коацерваты» Опарина, «микросферы» Фокса, «пузырьки» Гольдейкра и др.
4. Образование ***протоклеток*** (автономных биологических систем, содержавших белки и нуклеиновые кислоты, липидные мембраны, участвовали в реакции матричного синтеза и были способны к самовоспроизведению) (*ил. 135*). Интересны в этом аспекте гипотеза «РНК-мира» (Л. Орджел, К. Вёзе, У. Гилберт) и гипотеза «мира полиароматических углеводородов» (С. Н. Платтс).




Ил. 135. Органические системы:
1 – коацерватные капли;
2 – протоклетки с РНК-рибозимом

Итак, основными этапами предбиологической эволюции является синтез органических мономеров, синтез полимеров и липидов, образование органических систем, формирование протоклеток.

### Каковы основные события биологической эволюции жизни?

**Биологическая эволюция** – *это историческое развитие жизни на Земле от первобытных биосистем до современного органического мира.* Из протоклеток более 3,5 млрд лет назад появляются архебионты – первые организмы, имевшие уже клеточную мембрану, цитоплазму, генетический аппарат, возникли репликация и биосинтез белков на основе генетического кода. Архебионты являются общими предка-

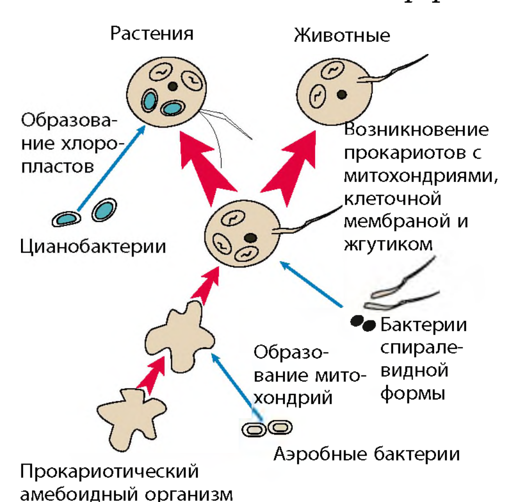
ми всех ныне существующих групп организмов – бактерий, архей и эукариотов (*табл. 14*).

**Таблица 14. ГЕОХРОНОЛОГИЯ ЗЕМЛИ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЖИЗНИ**

| Эра | Период | Основные эволюционные события |
|---|---|---|
| Архей | Возникновение прокариотов, разделение на бактерии и археи. Появление цианобактерий | |
| Протерозой | Появление эукариотов, разделение на растения, грибы и животные. Появление многоклеточных организмов | |
| Палеозой | Кембрий | Появление животных со скелетом, первых членистоногих – трилобитов |
| | Ордовик | Появление позвоночных (панцирные бесчелюстные) и сосудистых растений |
| | Силур | Выход растений (риниофиты) и беспозвоночных (ракоскорпионы) на сушу |
| | Девон | Появление высших споровых, челюстноротых рыб и амфибий (лабиринтодонты) |
| | Карбон | Возникают семенные папоротники и первые пресмыкающиеся (котилозавры) |
| | Перм | Появление голосеменных и териодонтов |
| Мезозой | Триас | Появление динозавров. Появление первых млекопитающих |
| | Юра | Появление птиц |
| | Крейда | Появление покрытосеменных, сумчатых и плацентарных |
| Кайнозой | Палеоген | Появление и расцвет плацентарных млекопитающих и птиц |
| | Неоген | Появление человекообразных обезьян и австралопитеков |
| | Антропоген | Появление человека |

**Появление бактерий и архей** произошло в архейской эре. Сегодня экологические взгляды на развитие жизни на Земле всё больше убеждают учёных, что процесс возникновения гетеротрофов и автотрофов происходил параллельно. В процессе эволюции должны были появиться простые, но надёжные экосистемы с продуцентами, консументами и редуцентами. Доказательством этого служат ископаемые остатки строматолитов и существующие и сегодня подобные экосистемы в определённых участках Земли. Можно только восхищаться взглядами В. И. Вернадского, который писал: *«Появление жизни в начале формирования биосферы должно было состояться не в виде одного какого-нибудь организма, а в виде группировки, что соответствует геохимическим функциям жизни»*.

**Появление эукариотов** произошло в протерозойскую эру жизни. В это время в морях возникли первоначальные *одноклеточные эукариоты*, которые быстро дивергировали на растения, грибы и животные, и *многоклеточные эукариоты*, которые в экосистемах моря были представлены почти всеми типами животных и основными отделами водорослей. Формирование эукариотов связано




Ил. 136. Этапы симбиогенеза

с такими ароморфозами, как появление ядра, диплоидного набора хромосом и полового размножения. У них возникают настоящий митоз и мейоз. У эукариотов появляются митохондрии и пластиды, которые осуществляют процессы аэробного дыхания и фотосинтеза. Есть несколько гипотез происхождения эукариотов, из которых чаще всего упоминается симбиотическая гипотеза (митохондрии и пластиды являются потомками симбиотических видов прокариотов) (*ил. 136*).

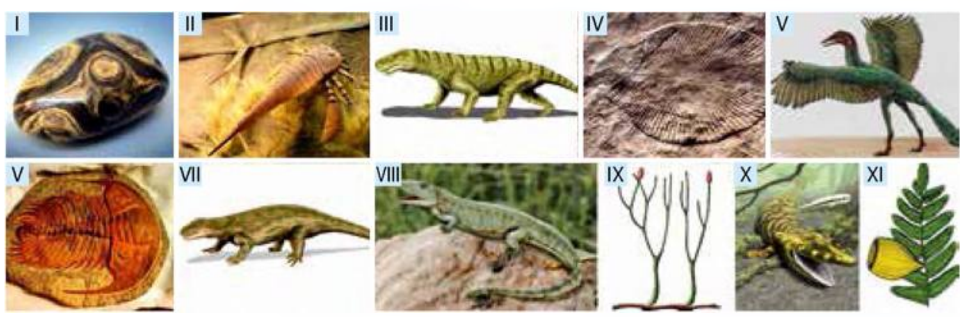


## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

Доказательствами развития жизни на Земле являются палеонтологические находки – ископаемые остатки организмов, микро- и макроокаменелости. Сопоставьте иллюстрации с названиями окаменелостей и их особенностями.

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |




| | |
|---|---|
| **1** Строматолиты | **А** Первые наземные высшие растения |
| **2** Семенные папоротники | **Б** Плотные слоистые образования в результате деятельности цианобактерий |
| **3** Риниофиты | **В** Ископаемые членистоногие, первопоселенцы суши |
| **4** Котилозавры | **Г** Животные кембрия с сегментированным панцирем |
| **5** Трилобиты | **Д** Древние вымершие амфибии |
| **6** Ракоскорпионы | **Е** Древнейшие и самые примитивные вымершие пресмыкающиеся |
| **7** Лабиринтодонты | **Ж** Вымершие рептилии, от которых произошли млекопитающие |
| **8** Териодонты | **З** Вымершее звено между споровыми и семенными растениями |
| **9** Археоптерикс | **И** Переходная форма между рыбами и земноводными |
| **10** Дикинсония | **К** Ископаемое животное протерозойской эры |
| **11** Тиктаалик | **Л** Ископаемая форма с признаками птиц и пресмыкающихся |



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Каковы основные свойства жизни? 2. Назовите гипотезы происхождения жизни на Земле. 3. Что такое предбиологическая эволюция? 4. Назовите этапы предбиологической эволюции. 5. Что такое биологическая эволюция? 6. Назовите эры исторического развития жизни на Земле. |
| 7 – 9 | 7. Каковы мировоззренческие и научные взгляды на происхождение жизни на Земле? 8. Каковы основные этапы предбиологической эволюции жизни? 9. Каковы основные события биологической эволюции? |
| 10 – 12 | 10. В чём суть распространённых гипотез происхождения жизни на Земле? |

## Обобщение темы 6. ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

***Эволюция – естественное явление изменения популяций, видов, высших таксонов, биоценозов, флоры и фауны, генов и признаков во времени в ходе истории Земли.***

*Википедия*



**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ** – *это необратимое, направленное историческое развитие живой природы*. Впервые термин *эволюция* (от греч. *эволюция* – развёртывание) в биологии использовал швейцарский натуралист и философ Ш. Бонне в 1762 г. Эволюция сопровождается изменениями генетического состава популяций, формированием приспособлений, образованием видов, преобразованиями биогеоценозов и биосферы в целом. Основными признаками биологической эволюции являются: 1) необратимость; 2) направленность; 3) уровневость. *Наука о причинах, движущих силах, механизмах и закономерностях исторического развития органического мира называется* **эволюционной биологией** (*схема*).

**Схема. ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА**

| ФАКТОРЫ ЭВОЛЮЦИИ | |
|---|---|
| **Движущие** | **Элементарные** |
| ***Естественный отбор*** (движущий, стабилизирующий, разрывающий) | 1. Волны жизни<br>2. Изоляция<br>3. Дрейф генов<br>4. Мутационный процесс |
| Имеют направленный закономерный характер и обеспечивают отбор приспособительных признаков | Имеют ненаправленный случайный характер и поставляют материал для естественного отбора |

↓

| Элементарный эволюционный материал – мутации и рекомбинации |
|---|

↓

| Элементарная единица эволюции – популяция |
|---|

↓

| Элементарное эволюционное явление – изменение генетической структуры популяции |
|---|

↓

| ВИДЫ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА | | |
|---|---|---|
| Микроэволюция | Видообразование | Макроэволюция |
| ↓ | ↓ | ↓ |

| ПОСЛЕДСТВИЯ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА | | |
|---|---|---|
| Относительная приспособленность организмов<br>Образование популяций и подвидов | Образование видов:<br>1) географическое;<br>2) экологическое | Биологический регресс или прогресс путем ароморфозов, идиоадаптаций и общей дегенерации |

## Самоконтроль знаний

### Тест-конструирование 6. ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

**1.** Кто из учёных, наблюдая за развитием тли, сделал неожиданный вывод о наличии в живой природе эволюции?

**О** Ч. Дарвин **П** К. Линней **Р** Ж. Б. Ламарк **С** Ш. Бонне

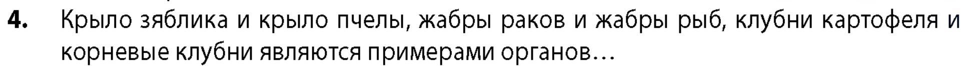
**2.** Как Ч. Дарвин называл форму изменчивости, которая поставляет для эволюции материал для естественного отбора?

**С** определённая **Т** неопределённая **У** модификационная **Ф** генотипная

**3.** Эти гигантские морские членистоногие являются одними из древнейших реликтовых видов. Назовите этих «живых ископаемых» животных.

**П** гаттерия **Р** мечехвосты

**С** латимерия **Т** ехидна



**4.** Крыло зяблика и крыло пчелы, жабры раков и жабры рыб, клубни картофеля и корневые клубни являются примерами органов…

**А** аналогичных **Б** атавистических **В** рудиментарных **Г** гомологичных

**5.** «*Онтогенез – это быстрое повторение филогенеза*». Назовите закономерность.

**Т** биогенетический закон

**У** закон гомологических рядов наследственной изменчивости

**Ф** закон генетического равновесия

**Х** закон зародышевого сходства

**6.** Что является элементарной единицей эволюции?

**З** мутации **И** популяции **Ж** естественный отбор **К** дрейф генов

**7.** Примерами действия какой формы отбора является формирование устойчивости против ядохимикатов у насекомых и индустриальный меланизм у бабочек берёзовой пяденицы.

**А** балансирующего **Б** стабилизирующего **В** разрывающего **Г** движущего

**8.** Какая форма эволюции привела к появлению засухоустойчивых форм молочаев и кактусов, изображённых на фотографиях?

**П** дивергентная **Р** конвергентная

**С** филетичная **Т** паралельная

**9.** Какая из гипотез объясняет происхождение эукариотов?

**А** симбиотическая **Б** гипотеза гастреи

**В** гипотеза фагоцителлы **Г** гипотеза «РНК-мира»



**10.** Назовите вымершее животное, изображённое на рисунке.

**С** риниофит **Т** ракоскорпион

**У** тиктаалик **Ф** трилобит

**11.** Какой из признаков имеет ароморфный характер?

**Е** предупреждающая окраска божьей коровки

**И** цветок покрытосеменных

**К** корни-присоски омелы

**Л** крючковатый клюв совы

**12.** Древнейшей эпохой развития жизни на Земле является…

**Ч** протерозойская **Ш** мезозойская **Ю** палеозойская **Я** архейская

При условии правильных ответов вы получите название науки, одной из задач которой является определение геологического возраста осадочных пород:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | |

# Тема 7. БИОРАЗНООБРАЗИЕ

***Биоразнообразие – разнообразие живых организмов во всех его проявлениях.***

*Википедия*

## § 50. ОСНОВЫ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ФИЛОГЕНИИ И СИСТЕМАТИКИ

**Основные понятия и ключевые термины: БИОРАЗНООБРАЗИЕ. Биосистематика. Филогения.**

**Вспомните!** Что такое организмы, виды, экосистемы?

**Подумайте!**

Сколько же всего видов живых существ живёт на Земле? Согласно исследованиям 2016 г. на Земле существует около 1 триллиона видов, из которых изучено лишь 0,001%. Авторы исследования подчёркивают, что подсчёт количества видов является одной из сложнейших задач биологии. Каковы причины такого разнообразия видов?





### СОДЕРЖАНИЕ

**Какое значение для Земли имеет её биоразнообразие?**

БИОРАЗНООБРАЗИЕ – *это разнообразие организмов, видов и их группировок*. Понятие *биоразнообразие* используется с 1988 г., после издания книги известного американского биолога Э. Уилсона «Биоразнообразие». Изучением закономерностей формирования и эволюции биоразнообразия занимается ***диверсикология***.

Основные типы биоразнообразия: ***генетическое*** (разнообразие генов всех организмов), ***видовое*** (разнообразие видов клеточных организмов) и ***экосистемное*** (разнообразие биотопов и биоценозов в различных участках Земли). Все типы биоразнообразия связаны между собой.

Ныне вследствие антропогенного воздействия человека биоразнообразие сокращается. Большинство учёных считает, что в наше время происходит шестое – наибольшее – вымирание видов, спровоцированное человеческим фактором. Вымирание видов – нормальное явление природы, но, по оценкам учёных, его нынешние темпы превышают естественные в 2–10 раз. Не менее уязвимо разнообразие природно-климатических зон. С целью привлечения внимания общественности к проблемам сокращения биоразнообразия Генеральная Ассамблея ООН провозгласила 22 мая Международным днём биоразнообразия.

Основные факторы, угрожающие биоразнообразию: 1) сокращение ареалов обитания из-за деятельности человека; 2) чрезмерная эксплуатация биоресурсов (например, рыболовство уничтожило до 80 % рыбной биомассы); 3) загрязнение среды (например, тысячи морских птиц и черепах ежегодно погибают из-за мелкого пластмассового мусора); 4) вторжение чужеродных видов (например, азиатский карп в водоёмах Европы).

Каково же значение биоразнообразия для Земли? Живые организмы и их группировки обеспечивают: устойчивость и развитие биосферы, биологический круговорот веществ и поток энергии, регуляцию климатических процессов на Земле, потребности человека в биоресурсах (пище, сырье, лекарствах) и др. Биоразнообразие – это огромный генофонд планеты, и чем он разнообразнее, тем легче наша Земля адаптируется к новым условиям. Биоразнообразие современного органического мира – результат эволюции в течение 3,3–4,2 млрд лет.

Итак, генетическое, видовое и экосистемное биоразнообразие является основой жизни на Земле.

## Каковы основные принципы биологической систематики?

**Биосистематика** (от греч. *биос* – жизнь и *система* – упорядочение) – *наука о разнообразии организмов*. Термин был предложен К. Линнеем. Современная систематика развивается в тесной связи с эволюционной морфологией, биохимией, экологией, анатомией, молекулярной биологией, генетикой, биогеографией и т. п. Основная цель биосистематики – создание системы органического мира.

Общие принципы биосистематики, которые упорядочивают и организуют исследования видового разнообразия, таковы.

- Для определения вида в системе органического мира используются систематические (таксономические) категории: домен, царство, тип (отдел), класс, ряд (порядок), семейство, род и вид (*ил. 137*).
- Основной и наименьшей единицей классификации является вид, а наибольшей – категория, включающая несколько царств.
- Каждый вид следует обязательно классифицировать – определить степень его сходства и отличия от других, сравнив с ними.
- Основой отдельных признаков сходства является создание *искусственных* (*формальных*) *систем* (систем организмов, в классификации которых не учитывается историческое родство различных таксонов).
- *Природные* (*филогенетические*) *системы* – это системы организмов, в которых классификация видов основывается на их степени сходства и отражает филогенетическое родство между систематическими группами.
- Для классификации живых организмов используется двойная (бинарная) номенклатура, которую ввёл ещё К. Линней. ***Бинарная номенклатура*** – двойное название видов,



Ил. 137. Основные таксономические категории

первое слово которой указывает на родовую принадлежность, а второе – на видовую. Например, собака домашняя (*Canis familiaris*).

- Для сведения правил биологической номенклатуры существуют специальные номенклатурные кодексы (например, «Международный кодекс ботанической номенклатуры» (ICBN), «Международный кодекс зоологической номенклатуры» (ICZN).

Итак, основными задачами современной биосистематики являются описание и упорядочивание различных существующих и вымерших видов, классификация и определение эволюционных связей для создания природной (филогенетической) системы органического мира.

**Каково значение эволюционной филогении в исследовании биоразнообразия?**

**Эволюционная филогения (или филогенез)** (от. греч. *фило* – род и *генезис* – порождаю) – *раздел эволюционной биологии, изучающий пути исторического развития биоразнообразия Земли*. Термин *филогенез* ввёл в науку немецкий учёный Э. Геккель в 1866 г. Им он определял историческое развитие отдельных видов, систематических групп и органического мира в целом. В современном понимании понятие *филогения* применяется и для исследований эволюции молекул, клеток, органов, систем органов, популяций, отдельных видов, экосистем и биосферы в целом. Целью эволюционной филогении являются реконструкция происхождения и последовательности эволюционных преобразований и построение естественной системы органического мира.

Исходным методом для исследований филогенеза был метод «тройного параллелизма» с использованием знаний морфологии, эмбриологии и палеонтологии. Современная эволюционная филогения использует данные генетики, биохимии, молекулярной биологии и многих других наук. Важную информацию для учёных дают методы ***молекулярной филогенетики***, исследующие филогенетические отношения молекул ДНК, РНК и белков различных организмов. Так, было выяснено, что для установления эволюционных связей между царствами и типами живых организмов наибольшее значение имеет рРНК. Причина кроется в том, что эта молекула возникла на ранних этапах становления жизни и входит в состав всех живых организмов.

Для иллюстрации филогении эволюционных связей между группами организмов применяют *филогенетические деревья*. Это изображения филогенетических отношений в любой природной группе организмов или в пределах всего органического мира.

Результаты исследований эволюционной филогении широко используются в биосистематике для классификации организмов, в биогеографии – для изучения распространения, в этологии – для исследования эволюции поведения, в медицине – для понимания путей возникновения болезнетворных микроорганизмов и др.

Итак, предметом исследований эволюционной филогении являются эволюционные связи между организмами на разных уровнях организации живого и пути исторического развития биоразнообразия на Земле.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Рассмотрите филогенетическое дерево, примените знания организмов и заполните таблицу. Сделайте вывод о единстве органического мира.

| Название группы | Представители |
|---|---|
| Бактерии | |
| Археи | |
| Одноклеточные животнообразные | |
| Одноклеточные водоросли | |
| Растения | |
| Грибы | |
| Животные | |




### Биология + Геология



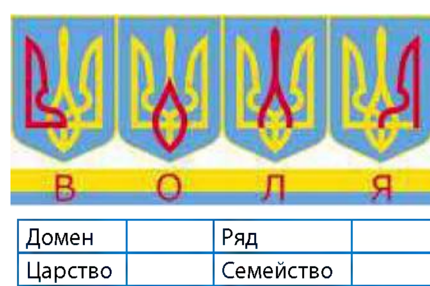
На фотографии – кусочек балтийского янтаря с застывшим грибным комаром, на ножке которого пыльцевой мешочек (полиний). С помощью этой находки учёным удалось определить, что адаптации орхидей к опылению при участии насекомых уже были у них 45 – 55 млн лет назад. Что такое янтарь? Каковы состав и свойства этой смолы, приносящей палеонтологам такие ценные сведения из древних геологических времен?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Символика

Воля – это украинская национальная идея. Она записана на украинском гербе, символом которого является сокол. Учёные отмечают, что как во времена Киевской Руси, так и ныне под этим названием понимают вид сапсан (*Falco peregrinus*). Определите место вида в системе органического мира. Выскажите суждения, почему именно сапсан является символом на украинском гербе.




| | | | |
|---|---|---|---|
| Домен | | Ряд | |
| Царство | | Семейство | |
| Тип | | Род | |
| Класс | | Вид | |



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое биоразнообразие? 2. Назовите типы биоразнообразия. 3. Что такое эволюционная филогения? 4. Какова цель эволюционной филогении? 5. Что такое биосистематика? 6. Назовите таксономические единицы. |
| 7 – 9 | 7. Какое значение для Земли имеет её биоразнообразие? 8. Каковы основные принципы биологической систематики? 9. Что такое филогенетическое дерево? |
| 10 – 12 | 10. Каково значение эволюционной филогении в исследовании биоразнообразия? |

*Я давно уже чувствую, что биология захватывает не менее, чем любая таинственная история, потому что она и есть таинственная история.*

*Ричард Докинз. Эгоистический ген*

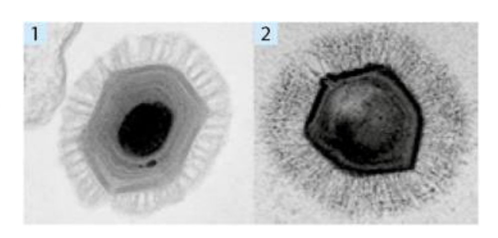
# § 51. СИСТЕМА ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА. ВИРУСЫ

**Основные понятия и ключевые термины: СИСТЕМА ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА. ВИРУСЫ. Субвирусные частицы.**

**Вспомните!** Что такое органический мир?

## Новости науки

Новый вирус, открытый в 2011 г. недалеко от побережья Чили, был назван *Megavirus chilensis*. Его геном содержит 1 259 197 пар нуклеотидов, размеры – около 680 нм. По этим показателям вирус – рекордсмен среди неклеточных форм жизни. В 2003 г. описан мимивирус, паразитирующий в клетках амёб. Его геном содержит 1,2 млн пар нуклеотидов, а размеры составляют около 600 нм (*ил. 138*). Каково место этих форм жизни в системе органического мира?




Ил. 138. Представители крупнейших вирусов: 1 – мегавирус; 2 – мимивирус

## СОДЕРЖАНИЕ

### В чём суть принципов построения системы органического мира?

СИСТЕМА ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА – *это деление на группы всех живых существ с учётом их родства и использованием систематических категорий*. Создание системы органического мира – главная задача биосистематики. Очевидно, завершённой такая система никогда не будет, но к этому нужно стремиться. Основные принципы построения системы органического мира таковы.

1. ***Принцип филогенетичности.*** В системе органического мира живые существа классифицируются не только по комплексу морфологических, физиологических, биохимических и молекулярно-генетических признаков, но и с учётом филогенетического родства организмов.
2. ***Принцип иерархичности.*** Систематические категории низшего порядка объединяются в категории более высокого порядка.
3. ***Принцип номенклатурной упорядоченности.*** Все названия таксонов должны соответствовать правилам, прописанным в специальных международных кодексах биологической номенклатуры.

Общепризнанной системы органического мира в современной биологической классификации нет. Чаще всего используются Система двух империй (прокариотов и эукариотов) и Система трёх доменов (Бактерии, Археи и Эукариоты). Согласно одной из классификаций все живые организмы (*Biota*) подразделяют на четыре группы: Неклеточные, Бактерии, Археи и Эукариоты.

Итак, система органического мира создаётся на основе принципов филогенетичности, иерархичности и номенклатурной упорядоченности.

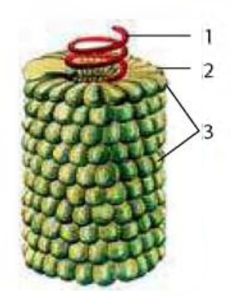
### Каковы особенности и значение вирусов?

**Неклеточные** – *совокупность форм жизни, не имеющих клеточного строения*. Кроме вирусов к группе Неклеточные относят и субвирусные частицы – вироиды и прионы.

**ВИРУСЫ** (от. лат. *virus* – яд) – *это неклеточные формы жизни являющиеся внутриклеточными абсолютными паразитами*. Вирусы поражают все клеточные организмы. Обнаружены также вирусы, способные воспроизводиться только в присутствии других вирусов (вирусы-сателлиты). Вирусы были открыты в 1892 г. Д.И. Ивановским. Вирусы, которых на сегодня описано более 5000 видов, изучает ***вирусология***.

| Особенности вирусов |
|---|
| 1. Неклеточное строение |
| 2. Простой химический состав |
| 3. Разнообразие генома |
| 4. Простое строение |
| 5. Отсутствие синтеза белков |
| 6. Относительная специфичность |
| 7. Особый жизненный цикл |
| 8. Способность к самосборке |

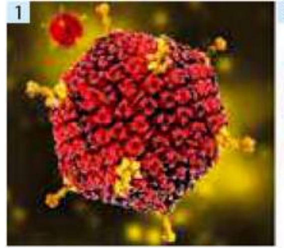
*Каковы особенности вирусов?* По особенностям строения вирусы делят на простые и сложные. ***Простые вирусы*** состоят из белков и нуклеиновой кислоты одного типа, а ***сложные вирусы*** содержат ещё липиды, углеводы. Простые вирусы имеют *капсид* из белковых частиц – *капсомеров* и нуклеиновую кислоту – *сердцевину* (*ил. 139*). Сложные вирусы могут иметь дополнительные оболочки, молекулы углеводов, ферменты и т. п. Вирусная нуклеиновая кислота представлена одно- или двухцепочечными молекулами ДНК или РНК.

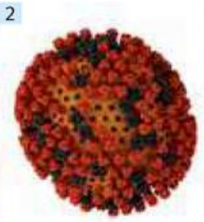


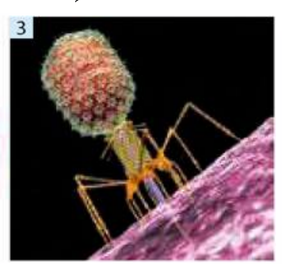

Ил. 139. Схематическое строение вируса табачной мозаики:
1 – сердцевина;
2 – капсомеры;
3 – капсид

Вирусные белки бывают нескольких типов: белки-ферменты для самовоспроизведения молекул нуклеиновых кислот, белки-гемагглютинины для распознавания клеток, белки-нейроминидазы для разрушения рецепторов клеток, структурные белки для построения капсида. У вирусов нет собственных белоксинтезирующих систем, то есть собственных иРНК, тРНК, рибосом. Для вирусов характерна такая специфичность, как возможность взаимодействия вирусов только с определёнными рецепторами клеточных мембран. В жизненном цикле вирусов имеются 2 фазы – внеклеточная (вирион) и внутриклеточная (проявляет отдельные признаки живого: изменчивость, размножение).

*Каково значение вирусов?* Вирусы вызывают различные, часто массовые (эпидемические) заболевания (*ил. 140*). У человека вирусы








Ил. 140. Разнообразие вирусов: 1 – аденовирус; 2 – вирус гриппа; 3 – бактериофаг Т-4

поражают органы дыхания (вирусы гриппа), пищеварительную (гастроэнтериты, гепатиты) или нервную (полиомиелит, энцефалиты, бешенство) системы, кожу и слизистые оболочки (корь, герпес, папилломы, ветряная оспа), подавляют иммунные реакции организма (СПИД), приводят к раковым заболеваниям (онковирусы). У животных вирусы вызывают ящур, чумку собак, чумку кур, у растений – желтушность, мозаичность, пятнистость, некрозы, опухоли и др.

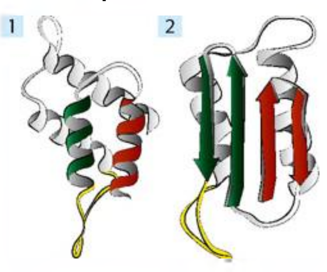
Мерами борьбы с вирусными болезнями являются: а) изоляция больных организмов от здоровых (карантин); б) лечение с помощью антивирусных препаратов (химиотерапия); в) профилактические прививки для повышения устойчивости организма (иммунизация).

Человек использует вирусы в биологическом методе борьбы с вредными видами (личинками кровососущих комаров, гусеницами шелкопрядов и т.п.). Вирусы используют и в генетической инженерии для переноса генов в клетки бактерий. Учёные считают, что вирусы играют большую роль в эволюции организмов, поскольку могут передавать наследственную информацию от одних особей этих организмов к другим, как в пределах одного вида, так и между разными.

Итак, вирусы являются давней, важной и недостаточно изученной формой жизни.

### Что общего и отличного между субвирусными частицами?

***Прионы*** (от англ. *proteinaceous infectious particles* – белковые заразные частицы) – *класс инфекционных агентов, которые являются низкомолекулярными белковыми частицами* (*ил. 141*). Это возбудители тяжёлых заболеваний ЦНС, мышечной, кровеносной и других систем у людей и ряда высших животных (так называемые медленные инфекции), и всегда заканчиваются летально. Открыты прионы в 1982 г. американским биологом С. Прузинером (род. 1992). Наиболее известные прионные инфекции, связанные с поражением головного мозга: *губчатая энцефалопатия, фатальная семейная бессонница*.




Ил. 141. Два варианта пространственной структуры прионного белка: 1 – нормальная структура (преобладают альфа-спирали); 2 – патологическая структура (преобладают бета-листы)

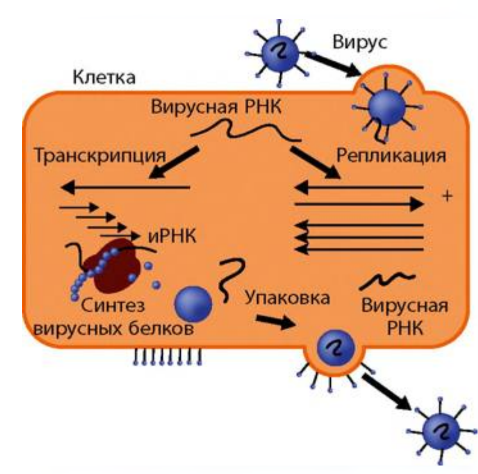
***Вироиды*** – *неклеточные формы жизни, представляющие собой низкомолекулярную одноцепочечную кольцевую РНК, не кодирующую белки*. Вироиды открыто в 1971 г. Т. Динером (род. 1926). Эти частицы, в отличие от РНК-вирусов, белковой оболочки не имеют. Вироиды попадают в клетку растения-хозяина при вегетативном размножении, с помощью насекомых или механическим путём в случае повреждения тканей. Большинство учёных считает, что они происходят от интронов или мобильных генетических элементов. Вироидными болезнями являются веретенообразность клубней картофеля, болезнь жёлтых пятен риса и др.

Итак, прионы и вироиды – это заразные субвирусные частицы, различной химической природы.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Работа с иллюстрацией

Рассмотрите схему жизненного цикла вируса гриппа и определите суть таких стадий, как: *прикрепление к клетке, проникновение в клетку, транскрипция, трансляция, репликация, сборка вирусных частиц, выход из клетки.* Объясните, почему создание антивирусных лекарств является очень трудной задачей.




### Задание на применение знаний

Для бактериофагов типичным признаком является использование генов бактерий, в которых они паразитируют и размножаются. Учёные открыли бактериофаг WO, который в своём геноме имеет часть ДНК паука чёрная вдова и гены, подавляющие иммунную систему паука. Это довольно странный факт, так как гены животных ещё не обнаружены в геноме бактериофагов. Предложите собственные объяснения этого факта и суждения о единстве органического мира.







## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Здоровье

**Грипп** (инфлюэнца) – вирусное заболевание, сопровождающееся поражением слизистых оболочек верхних дыхательных путей. Чаще всего грипп распространяется в виде эпидемий и пандемий. Вследствие наихудшей из них – эпидемии испанского гриппа – в 1918 г. погибли от 50 до 100 млн человек. Сегодня ситуация такова, что обычный вирус сезонного гриппа вызывает около 500 тысяч смертей ежегодно. Каковы этиология и основные средства борьбы с гриппом?





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое система органического мира? 2. Назовите принципы построения современных систем органического мира. 3. Что такое неклеточные формы жизни? 4. Приведите примеры неклеточных форм жизни. 5. Что такое прионы? 6. Что такое вироиды? |
| 7 – 9 | 7. В чём суть принципов построения системы органического мира? 8. Назовите особенности и значение вирусов? 9. Что общего и отличного между открытыми субвирусными частицами? |
| 10 – 12 | 10. Докажите, что вирусы являются необходимой и важной частью биоразнообразия Земли. |

*Сквозь волшебный прибор Левенгука на поверхности капли воды*
*Обнаружила наша наука удивительной жизни следы.*
*Н. Заболоцкий*

# § 52. БАКТЕРИИ. АРХЕИ

**Основные понятия и ключевые термины:** **БАКТЕРИИ. АРХЕИ.**

**Вспомните!** Что такое система органического мира?

**Подумайте!**

Роль модельных объектов в биологии трудно переоценить – на них держится вся наука. Многие из этих биологических объектов общеизвестны – практически все знают горох посевной, дрозофилу, лягушку или мышей. Однако есть и такие, о которых и не слышали. Это кишечная палочка (*Escherichia coli*). К какой группе организмов она относится?



## СОДЕРЖАНИЕ

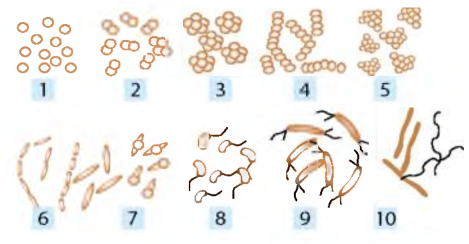
### Каковы особенности, разнообразие и значение бактерий?

**БАКТЕРИИ** (*Bacteria*) – *группа микроскопических одноклеточных организмов, у которых нет ядра и мембранных органелл*. Впервые эти микроскопические организмы увидел под микроскопом ***А. ван Левенгук*** (1632–1723). С тех пор и началось развитие науки ***микробиологии***.



Исходными предками бактерий и всех существующих организмов были архебионты – анаэробные гетеротрофные прокариотические организмы, которые возникли около 3,5–3 млрд лет назад.

Каковы же общие особенности строения и жизнедеятельности бактерий? Клеточная стенка содержит полисахариды (муреин), плазматическая мембрана образует внутриклеточные впячивания (фотомембраны, мезосомы), из органелл в цитоплазме имеются рибосомы, вместо ядра – *нуклеоид*, у многих – *плазмиды* (маленькие кольцевые молекулы ДНК). По форме клеток их делят на группы: *шаровидные*, *палочковидные*, *извилистые* (*ил. 142*). Для бактерий характерно чрезвычайное разнообразие типов и способов питания: *фотоавтотрофное* (цианобактерии), *хемоавтотрофное* (железо, серобактерии), *фотогетеротрофное* (пурпурные несерные бактерии), *хемогетеротрофное* (сапротрофные, симбиотрофные бактерии). Большинство прокариотов являются *аэробами*, но есть и многочисленная группа *анаэробов*, которые получают энергию, необходимую для жизни, благодаря процессам брожения. Движутся с помощью слизи или жгутиков. Размножаются бесполым способом – делением клетки пополам,

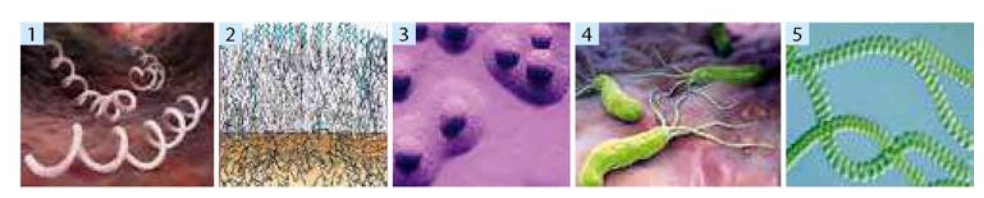


Ил. 142. Разнообразие бактерий по форме клеток: 1–5 – шаровидные; 6, 7 – палочковидные; 8–10 – извилистые

иногда почкованием, очень быстро (каждые 20–30 мин). У многих прокариотов образуются *споры* для жизни в неблагоприятных условиях.

Ныне происходит биохимическая эволюция бактерий: они способны осваивать новые адаптационные зоны, вырабатывая новые ферменты для усвоения новых питательных веществ.

Наиболее распространённой филогенетической классификацией является система, основанная на сопоставлении последовательностей нуклеотидов в рРНК. В ней все безъядерные организмы разделены на 26 филогенетических ветвей: 23 ветви представлены бактериями, три – археями. Наиболее известные группы бактерий: ***спирохеты*** (например, бледная спирохета – возбудитель сифилиса); ***актинобактерии*** (например, стрептомицеты); ***микоплазмы*** (например, микоплазма пневмонии человека); ***протеобактерии*** (например, кишечная палочка, сальмонелла, холерный вибрион, чумовая палочка, хеликобактер); ***цианобактерии*** – группа одноклеточных, колониальных прокариотов, способных к фотосинтезу с выделением кислорода и азотофиксации (например, спирулина, носток, анабена, микроцистис) (*ил. 143*).




Ил. 143. Разнообразие бактерий: 1 – бледная спирохета; 2 – колония актиномицетов; 3 – микоплазма пневмонии, 4 – хеликобактер; 5 – спирулина

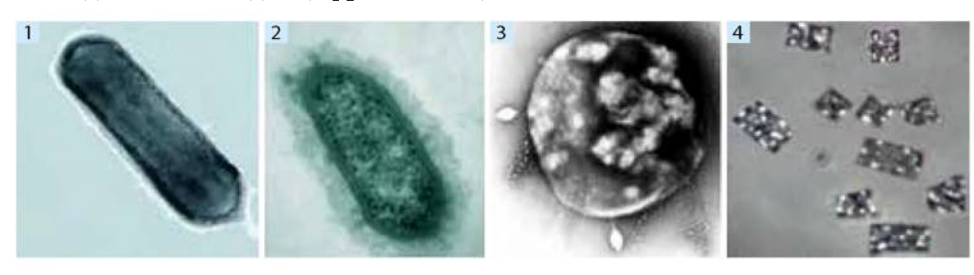
## РОЛЬ БАКТЕРИЙ В ПРИРОДЕ И ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

| **В природе** |
|---|
| • Минерализация органических остатков (например, сапротрофные бактерии)<br>• Санитарная роль на Земле (например, бактерии гниения)<br>• Участие в круговороте веществ (например, железобактерии, азотофиксирующие бактерии, нитрифицирующие бактерии, серобактерии и др.)<br>• Почвообразование (например, бактерии гниения)<br>• «Цветение» воды (например, цианобактерии)<br>• Азотофиксация (например, цианобактерии и некоторые азотофиксирующие бактерии)<br>• Образование нефти и газа (например, метанобактерии) |
| **В жизни человека** |
| • Возбудители болезней (например, туберкулёз, тиф, столбняк, холера)<br>• Вырабатывание антибиотиков (например, бактерии рода стрептомицеты)<br>• Биометод борьбы с насекомыми-вредителями<br>• Повышение урожайности растений (например, использование бактериальных удобрений – азотобактерина, фосфобактерина и т. п.)<br>• Участие в процессах брожения (например, для получения молочных продуктов)<br>• Лабораторные объекты (например, кишечная палочка)<br>• Обезвреживание загрязнителей (например, актиномицеты) |

Итак, жизнь на Земле невозможна без бактерий, поскольку с ними связаны химические превращения, которые не могут осуществить ни археи, ни эукариоты.

## Каково научное и практическое значение архей?

**АРХЕИ** (от греч. *археос* – старый) – *микроскопические одноклеточные безъядерные организмы, отличающиеся от бактерий и эукариотов.* Это наименее изученная и, возможно, древнейшая группа клеточных организмов (*ил. 144*). Эти организмы открыты в 1977 г. К. Вёзе и Дж. Фоксом. Ныне описано около 50 видов архей с довольно необычной формой клеток в виде квадрата, куба, параллелепипеда. Но по форме клеток отличить их от бактерий непросто. Основные особенности архей связаны с химическим составом и процессами жизнедеятельности. Это отсутствие в клеточной стенке пептидогликанов, наличие в геноме интронов и уникальных нуклеотидных последовательностей в генах рРНК и тРНК. Кроме того, основой клеточной мембраны архей является мономолекулярный слой липидов; только среди архей есть виды, способные к образованию метана в процессе жизнедеятельности, благодаря особым белкам ДНК является устойчивой к денатурации, в них не образуются споры и др. Археи размножаются бесполым способом: делением надвое, фрагментацией и почкованием.




Ил. 144. Представители архей: 1 – нитрозопумилус, имеющий палочковидную форму; 2 – метанобревибактер Смита – самая распространённая метаногенная архебактерия кишечника человека; 3 – сульфолобус, атакуемый бактериофагами; 4 – галоквадратум, способный жить в очень солёной воде

Многие археи распространены там, где жизнь других организмов невозможна. Некоторые живут при очень высоких температурах, часто выше 100 °С, как те, которых обнаружили в гейзерах и чёрных курильщиках. Других нашли в очень холодных средах или в чрезвычайно солёной, кислой или щёлочной воде. Основная роль архей в природе связана с их участием в круговороте азота и углерода. Многие симбиотические виды архей найдены в пищеварительных трактах жвачных животных, термитов, людей, они расщепляют целлюлозу. Археи не патогенны, нет сведений, чтобы какие-либо из них вызывали заболевания. Метаногенные археи используют в производстве биогаза, для очистки сточных вод.

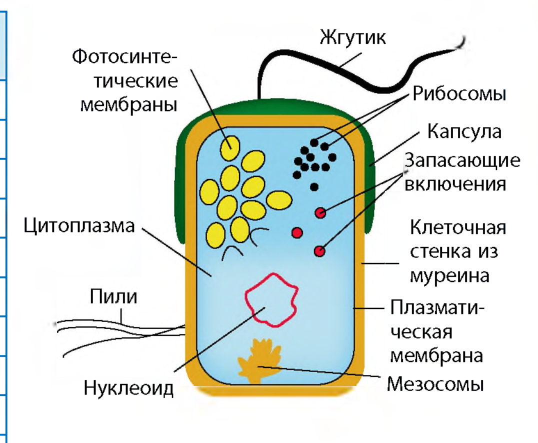
Итак, открытие архей является важным событием в биологии, что даёт возможность понять эволюцию жизни и существование биосферы на современном этапе её развития.

### ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

**Работа с иллюстрацией**

Определите значение обозначенных элементов строения обобщённой клетки бактерий и заполните таблицу в рабочей тетради.

| Название элементов строения | Значение |
|---|---|
| 1. Жгутик | |
| 2. Рибосомы | |
| 3. Включения | |
| 4. Плазмалема | |
| 5. Клеточная стенка | |
| 6. Нуклеоид | |
| 7. Мезосомы | |
| 8. Цитоплазма | |
| 9. Пили, или фимбрии | |
| 10. Фотомембраны | |




## Поисковое задание

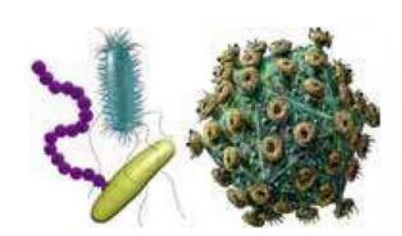


***Зооглея*** (от греч. *зоо* – животное и *глейос* – слизь) – слизистые образования, образующиеся в основном благодаря сосуществованию бактерий с другими организмами. К наиболее распространённым культурным видам зооглеи относятся молочный гриб и чайный гриб. Какие же организмы участвуют в формировании этих видов зооглеи? Какое значение имеют эти формы жизни для человека?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Здоровье



Знать различия вирусных и бактериальных инфекций необходимо в связи с тем, что эти инфекции лечатся по-разному. Так, лечение бактериальных инфекций проводят с помощью антибиотиков. Вирусные инфекции не подлежат лечению антибиотиками, поскольку они не действуют на них. Чем отличаются симптомы бактериальных и вирусных инфекций? В чём суть таких мер борьбы с бактериальными инфекциями, как дезинфекция, пастеризация и стерилизация?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Кто такие бактерии? 2. Приведите примеры бактерий. 3. Назовите общие признаки бактерий. 4. Кто такие археи? 5. Приведите примеры архей. 6. Назовите несколько общих признаков архей. |
| 7 – 9 | 7. Каковы особенности и разнообразие бактерий? 8. Каково значение бактерий? 9. Каково научное и практическое значение архей? |
| 10 – 12 | 10. Докажите значение бактерий и архей для эволюции жизни на Земле. |

*Природа – единственная книга, каждая страница которой полна глубокого содержания.*
*И. В. Гете*

## § 53. ЭУКАРИОТЫ

**Основные понятия и ключевые термины: ЭУКАРИОТЫ. РАСТЕНИЯ. ГРИБЫ. ЖИВОТНЫЕ.**

**Вспомните!** Что такое ядро?

### Новости науки

Перед вами на иллюстрациях животное, гриб и растение: псатирелла водяная, губка-лира, стапелия жёлто-пурпурная. По каким признакам можно определить их принадлежность к трём основным группам эукариотов?




### СОДЕРЖАНИЕ

**Каковы особенности строения, жизнедеятельности и эволюции растений?**

ЭУКАРИОТЫ (*Eukaryota*) – *одно- и многоклеточные организмы, имеющие в своих клетках ядро и мембранные органеллы*. К одноклеточным эукариотам относятся одноклеточные животнообразные, одноклеточные водоросли, одноклеточные грибовидные организмы, которых можно объединить в группу Протисты (от греч. *протистос* – самый первый). Многоклеточными эукариотами являются растения, грибы и животные. В процессе эволюции предки эукариотов возникли благодаря симбиогенезу бактериальных клеток и формированию двумембранных органелл. Поэтому геном эукариотических клеток может быть ядерным, пластидным и митохондриальным.

РАСТЕНИЯ (*Plantae*) – *многоклеточные эукариотические организмы, общими особенностями которых являются пластиды, фотоавтотрофное питание и прикреплённый образ жизни*. Почти во всех растениях клетки тригеномны – с ядерным, митохондриальным и пластидным геномами. Кроме того, у растительных клеток есть клеточная стенка из целлюлозы и запасающие включения в виде крахмальных зёрен. Высшие растения имеют образовательные, проводящие, механические, основные и покровные ткани, образующие вегетативные и генеративные органы. Реагируют растительные организмы на воздействия среды с помощью тропизмов и настий, а регуляция процессов жизнедеятельности происходит с участием фитогормонов.


Ил. 145. Глаукофитовая водоросль Цианофора (*Cyanophora paradoxa*) – модельный организм в генетике

Предками растений были жгутиковые прокариоты, которые вступили в симбиоз с цианобактериями. От них около 1,5 млрд лет назад образовались одноклеточные ***глаукофи-***

***товые водоросли*** (*ил. 145*). Учёные считают, что глаукофиты (от греч. *глаукос* – сине-зелёный и *фитос* – растение) являются подтверждением происхождения растений от бактерий. Эти водоросли обладают уникальными хлоропластами (цианеллами) с простыми признаками: слой муреин между мембранами, яркая сине-зелёная окраска, способность к азотофиксации и др. От глаукофитовых водорослей образовались одноклеточные *зелёные* и *золотистые водоросли*. Они уже имели ядро, пластиды и половое размножение. Впоследствии возникли многоклеточные водоросли, от которых отделились мхи. Первыми наземными растениями считаются риниофиты, которые происходят от зелёных или бурых водорослей. От риниофитов отдельными эволюционными ветвями отошли плауны, хвощи, папоротники и голосеменные. Впоследствии от семенных папоротников образовались голосеменные, от голосеменных эволюционировали покрытосеменные.

Основными направлениями эволюции растений были: многоклеточность, формирование бесполого и полового поколений и образование двух эволюционных направлений развития наземных растений (гаметофитного и спорофитного), оплодотворение без воды, появление семени, формирование цветка, плода и двойного оплодотворения.

По данным 2016 г., на Земле известно 390 900 видов растений, их объединяют в отдельное царство в пределах домена Эукариоты. В царстве Растения для изучения в школе чаще всего выделяют следующие группы: низшие растения (Диатомовые водоросли, Бурые водоросли, Красные водоросли, Зелёные водоросли) и Высшие растения (Мохообразные, Хвощевидные, Плауновидные, Папоротникообразные, Голосеменные, Покрытосеменные). Для классификации растений применяют такие основные систематические категории, как царство, отдел, класс, порядок, семейство, род и вид.

Итак, растения являются древней и разнообразной группой эукариотов.

## Каковы особенности эволюции и систематики грибов?

**ГРИБЫ** (*Fungi*) – *многоклеточные гетеротрофные эукариотические организмы, общими признаками которых являются осмотическое питание и прикреплённый образ жизни.* Клетки грибов имеют клеточную стенку из хитина, запасают гликоген. У грибов очень хорошо развито везикулярное транспортирование, что обеспечивает выделение ферментов для внеклеточного расщепления органики. Простые питательные вещества поступают в клетку в процессе осмотического питания без образования пищеварительных вакуолей. У грибов




Ил. 146. Разнообразие грибов: 1 – шляпочный белый гриб; 2 – паразитические рожки ржи; 3 – трутовик серно-жёлтый; 4 – дрожжевые грибы сахаромицеты; 5 – плесневый гриб пеницилл; 6 – лишайник золотянка стенная

двугеномные клетки, в которых представлены ядерный и митохондриальный геномы, а размеры самого генома значительно меньше, чем у растений и животных.

Вегетативное тело подавляющего большинства грибов представляет собой систему покрытых клеточными оболочками нитей (гифов), которая называется грибницей (мицелием). Дифференцированные ткани и вегетативные органы чётко не выражены. Органы бесполого размножения грибов называют спорангиями. Они размещены поодиночно или собраны в сложные структуры.

Грибы имеют полифилетическое происхождение от различных жгутиковых. Первые достоверные остатки грибов известны со времён девона, но возникли ещё в архейской эре. Грибы делятся на настоящие грибы и грибовидные организмы.

Ныне описано около 70 тыс. видов грибов, однако их ожидаемое многообразие составляет от 300 тыс. до 1,5 млн видов. Основными экологическими группами, имеющими для человека наибольшее значение, являются шляпочные грибы, грибы-паразиты, плесневые грибы, дрожжевые грибы и др. (*ил. 146*). Лишайникам не придают в системе грибов статуса определённого таксона, поскольку существуют взгляды о независимости происхождения различных групп лишайников. По принятой в Украине системе, настоящие грибы делятся на 10 групп, среди которых выделим отделы Миксомикота, Оомикота, Хитридиомикота, Зигомикота, Аскомикота, Базидиомикота.

Итак, грибы – это древние эукариотические организмы, объединённые в отдельное царство.

## Каковы особенности эволюции и основные группы животных?

| ЦАРСТВО ЖИВОТНЫХ | |
|---|---|
| **Первичные многоклеточные** | |
| Типы | *Губки, Пластинчастые* |
| **Настоящие многоклеточные** | |
| Раздел | *Радиально-симметричные, или Кишечнополостные* |
| Типы | *Книдарии, Реброплавы* |
| Раздел | *Двусторонне-симметричные* |
| Типы | *Плоские черви, Круглые черви, Кольчатые черви, Моллюски, Членистоногие, Иглокожие, Хордовые* |

**ЖИВОТНЫЕ** (*Animalia*) – *многоклеточные эукариотические организмы, общими чертами которых являются хемогетеротрофное питание и активное движение* (*локомоция*). Для них характерны двогеномные клетки (ядерный и митохондриальный геномы), изменчивая форма тела, ограниченный рост, рефлексы, отсутствие клеточной стенки и наличие гликокаликса, запасание гликогена, наличие двух или трёх зародышевых листков, стадий бластулы и гаструлы в зародышевом развитии.

Считается, что животные произошли от одноклеточных жгутиковых, а их ближайшие известные живые родственники – это воротниковые жгутиконосцы, морфологически подобные хоаноцитам некоторых губок. Молекулярные исследования определили место животных в надгруппе Заднежгутиковые. Это название обозначает расположение жгутика в подвижной клетке, тогда как другие эукариоты в основном имеют передний жгутик.

Основными направлениями эволюции животных являются появление многоклеточности, различных органов и систем органов, развитие

подвижности и систем регуляции. В эволюции животных ароморфозов появлялось гораздо больше, чем у представителей других царств.

Наиболее известные типы животных появляются в кембрийский период, около 542 млн лет назад («кембрийский взрыв»).

**Итак, животные являются самой разнообразной и многочисленной группой эукариотов.**



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

На конкретных примерах сравните три группы эукариотов. Сделайте вывод о сходстве и различиях и их причинах.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТЕНИЙ, ЖИВОТНЫХ И ГРИБОВ**

| Признак | Растения | Животные | Грибы |
|---|---|---|---|
| Геном | | | |
| Особенности строения клеток | | | |
| Ткани и органы | | | |
| Питание | | | |
| Активное движение | | | |
| Основные группы | | | |

### Биология + Экология

Ятрышниковые (Орхидные, Орхидеи) – это двудольные растения, для которых характерна мимикрия – свойство имитировать внешний вид организмов или неживых объектов. Какое значение для растений имеет мимикрия цветов? Каково значение орхидей в жизни человека?








## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Здоровье

*Протозойные болезни* (от греч. *протос* – первый и *зоон* – животное) – заболевания, вызванные одноклеточными животнообразными (амёбиаз, малярия, лямблиоз, токсоплазмоз, лейшманиоз, сонная болезнь). Какие известны средства борьбы с протозойными болезнями?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое эукариоты? 2. Что такое растения? 3. Что такое грибы? 4. Назовите основные группы грибов. 5. Кто такие животные? 6. Назовите группы животных. |
| 7 – 9 | 7. Каковы особенности строения, жизнедеятельности и эволюции растений? 8. Каковы особенности эволюции и систематики грибов? 9. Назовите особенности эволюции и основные группы животных. |
| 10 – 12 | 10. Докажите единство органического мира, которое проявляется через его разнообразие. |

## Обобщение темы 7. БИОРАЗНООБРАЗИЕ

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ** – *это разнообразие организмов, видов и их группировок.* Изучением биоразнообразия занимается ***диверсикология***. Основные типы биоразнообразия: ***генетическое***, ***видовое*** и ***экосистемное***. Все типы биоразнообразия связаны между собой (*табл. 15, 16*).




**Таблица 15. РАЗНООБРАЗИЕ ФОРМ ЖИЗНИ**

| Неклеточные формы жизни | Клеточные организмы |
|---|---|
| Вирусы<br>Субвирусные частицы:<br>– прионы;<br>– вироиды | Домен БАКТЕРИИ<br>Домен АРХЕИ<br>Домен ЭУКАРИОТЫ:<br>– одноклеточные организмы, способные к фотосинтезу;<br>– грибообразные организмы;<br>– одноклеточные животнообразные;<br>– растения;<br>– грибы;<br>– животные |

**Таблица 16. РАЗНООБРАЗИЕ РАСТЕНИЙ, ГРИБОВ И ЖИВОТНЫХ**

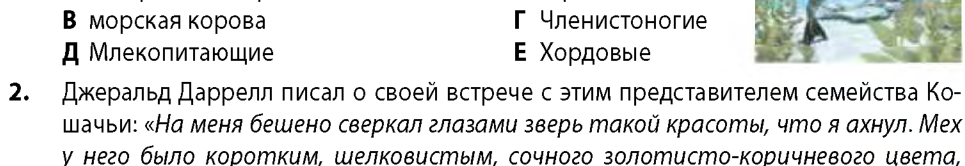
| РАСТЕНИЯ | ГРИБЫ | ЖИВОТНЫЕ |
|---|---|---|
| Низшие растения:<br>• Красные водоросли<br>• Зелёные водоросли<br>• Диатомовые водоросли<br>• Бурые водоросли<br>Высшие растения:<br>• Мохообразные<br>• Хвощеобразные<br>• Плаунообразные<br>• Папоротникообразные<br>• Голосеменные<br>• Покрытосеменные | Слизевики<br>Настоящие грибы:<br>· Миксомикота<br>· Оомикота<br>· Хитридиомикота<br>· Зигомикота<br>· Аскомикота<br>· Базидиомикота<br>Лишайники | Первичные многоклеточные<br>· Губки. Пластинчатые<br>Настоящие многоклеточные<br>Отдел Радиально-симметричные, или Кишечнополостные<br>· Книдарии. Реброплавы<br>Отдел Двусторонне-симметричные<br>· Плоские черви. Круглые черви. Кольчатые черви. Моллюски. Членистоногие. Иглокожие. Хордовые |
| Определяющие признаки<br>1. Клетки тригеномные<br>2. Пластиды<br>3. Фотоавтотрофное питание<br>4. Прикреплённый способ жизни<br>5. Клеточная стенка из целлюлозы<br>6. Запасающий полисахарид – крахмал | Определяющие признаки<br>1. Клетки двугеномные<br>2. Отсутствие пластид<br>3. Гетеротрофность и осмотическое питание<br>4. Прикреплённый образ жизни<br>5. Клеточная стенка из хитина<br>6. Запасающий полисахарид – гликоген | Определяющие признаки<br>1. Клетки двугеномные<br>2. Отсутствие пластид<br>3. Гетеротрофность<br>4. Активный образ жизни<br>5. Гликокаликс<br>6. Запасающий полисахарид – гликоген |

## Самоконтроль знаний

### Тест-применение 7. БИОРАЗНООБРАЗИЕ

**1.** У Лины Костенко есть строки: «*Прощай, ..., с Командорских островов! Чудовище, реликт, создание ластогрудое*». Назовите этот вымерший вид и укажите, к какому типу животных относился.

**А** бескрылая гагарка **Б** тарпан
**В** морская корова **Г** Членистоногие
**Д** Млекопитающие **Е** Хордовые



**2.** Джеральд Даррелл писал о своей встрече с этим представителем семейства Кошачьи: «*На меня бешено сверкал глазами зверь такой красоты, что я ахнул. Мех у него было коротким, шелковистым, сочного золотисто-коричневого цвета, словно дикий мед. Глаза зелёные, точно листья подо льдом, блестели, как слюда в лучах угасающего солнца*». К какому домену и классу относится ягуар (*Panthera onca*), которого описал Д. Даррелл?

**А** Бактерии **Б** Археи **В** Эукариоты
**Г** Пресмыкающиеся **Д** Хордовые **Е** Млекопитающие

**3.** Это отрывок из книги А. Д. Фостера «Филогенез»: «*Однако гигантские выдры его не поняли. Две запрыгнули в лодку и начали кромсать ботинки человека. Клыки у выдр были длиной с палец, а челюсти достаточно сильные, чтобы раздробить кость средней толщины. Чёрные глаза угрожающе блестели ...* ». Назовите вид, с которым у выдры гигантской есть ближайшее эволюционное родство и признак, общий для них.

**А** медведь бурый **Б** морской котик **В** куница лесная
**Г** всеядность **Д** хищничество **Е** цевка

**4.** С помощью иллюстрации определите и назовите форму жизни и укажите вид нуклеиновой кислоты, которая образует сердцевину.

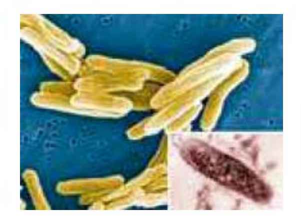
**А** фаг Т-4 **Б** ВИЧ **В** ВТМ
**Г** одноцепочечная ДНК **Д** одноцепочечная РНК

**5.** С 2014 г. Европейская и Средиземноморская организация защиты растений добавила в список опасных патогенов растений, требующих объявления карантина, три вида заразных частиц, вызывающих болезнь каданг-каданг кокосовой пальмы, карликовость хризантем и веретенообразность клубней картофеля (см. ил). Назовите эти частицы и укажите их природу.




**А** прионы **Б** вироиды **В** вирусы
**Г** белки **Д** ДНК **Е** РНК

**6.** *Mycobacterium tuberculosis* – вид, вызывающий подавляющее большинство случаев туберкулёза. Эти организмы были впервые описаны Робертом Кохом. К какой группе организмов относится этот вид и какова форма клеток этих организмов?



**А** Вирусы **Б** Бактерии
**В** Археи **Г** шаровидные, или кокки
**Д** извилистые **Е** палочковидные



# Тема 8. СВЕРХОРГАНИЗМЕННЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

*В капле воды отражается Вселенная.*
*Арабская пословица*

## § 54. ЭКОСИСТЕМА. РАЗНООБРАЗИЕ ЭКОСИСТЕМ

**Основные понятия и ключевые термины: ЭКОСИСТЕМА. Экосистемное разнообразие.**

**Вспомните!** Что такое биологические системы?

### Вступительное упражнение

Установив последовательность биологических систем, получите фамилию британского эколога, который в 1935 г. предложил концепцию экосистемы: Л – экосистема; И – биосфера; Т – клетка; Н – популяция; С – вид; Е – организм.



| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |



### СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы состав и основные свойства экосистем?

Современные экологические исследования проводятся по следующим направлениям: изучение влияния экологических факторов на организмы (*факторальная экология*), исследование экологических взаимосвязей на уровне популяций (*популяционная экология*), изучение закономерностей существования и развития природных сообществ и биосферы в целом (*биогеоценология, или синэкология*). Как отдельный раздел экологии синэкологию было выделено на Международном ботаническом конгрессе в 1910 г. Синэкология – это раздел экологии, объектом и предметом изучения которой являются экосистемы и их внутренние и внешние связи. А что такое экосистемы?

ЭКОСИСТЕМА – *совокупность организмов разных видов и среды их обитания, связанных с обменом веществ, энергии и информации*. Определяющим фактором существования экосистемы являются автотрофные организмы, усваивающие энергию Солнца с эффективностью около 1 %. Примерами экосистем различных размеров являются капля воды, домашний аквариум, пруд, широколиственный лес (*ил. 147*). Но в любой экосистеме выделяют две части – абиотическую и биотическую. Абиотическая часть (или биотоп) представляет собой комплекс факторов неживой природы, неорганических и органических веществ, которые в общем взаимодействии формируют опреде-

лённые климатические, почвенные, рельефные, гидрологические условия экосистемы. Биотическую часть (биоценоз) формируют живые организмы, проживающие в экосистеме. Её образуют группировки растений (фитоценозы), группировки животных (зооценозы) и группировки микроорганизмов (микробиоценозы).



Ил. 147. Пруд как пример экосистемы

Экосистемы открыты для внешнего обмена веществ, энергии и информации, но в результате саморегуляции способны поддерживать динамическую стабильность на протяжении длительного времени.

Итак, экосистема является совокупностью абиотического и биотического компонентов, для которой характерны целостность, открытость, устойчивость и саморегуляция.

### Зависит ли устойчивость экосистемы от её структуры?

Структура экосистемы – совокупность компонентов целостной системы, условно выделяемых по определённым критериям. Любая экосистема имеет пространственную, видовую и экологическую структуры.

*Пространственная структура* определяется расположением элементов абиотической и биотической частей в пространстве экосистемы. Поскольку усвоение энергии Солнца в экосистеме связано с растениями, то пространственная структура определяется в основном ярусным расположением растений.

*Видовая структура* экосистемы определяется видовым разнообразием, то есть количеством популяций и видов, а также соотношением особей этих видов. Именно этот показатель обеспечивает устойчивость и саморегуляцию экосистем.

*Экологическая структура* – соотношение популяций разных видов, выполняющих определённые функции в экосистеме. Этими группами являются продуценты, консументы и редуценты (*ил. 148*). Их наличие – обязательное условие существования любой экосистемы.

***Продуценты*** *– популяции автотрофных организмов, способных синтезировать органические вещества из неорганических.* Это зелёные растения, цианобактерии, фото- и хемосинтезирующие бактерии. В водных экосистемах основными продуцентами являются водоросли, а на суше – семенные растения.




Ил. 148. Схема взаимодействия компонентов экосистем

***Консументы*** *– популяции гетеротрофных организмов, которые питаются непосредственно или через другие организмы готовым органическим веществом, синтезированным автотрофами.* Различают *консументы I порядка* (гетеротрофные растительноядные организмы, паразиты растений) и *консументы II и последующих порядков* (хищники, паразиты животных, а также сапрофаги).

***Редуценты*** *– популяции гетеротрофных организмов, которые в процессе жизнедеятельности разлагают мёртвые органические вещества до минеральных, которые затем используются продуцентами.* Это гетеротрофные сапрофитные организмы – бактерии и грибы, выделяющие ферменты на органические остатки и поглощающие продукты их расщепления.

Итак, общая структура экосистемы определяется пространственным, видовым и экологическим разнообразием групп, что является обязательным условием её существования.

### Как исследуется экосистемное разнообразие?

Экосистемное разнообразие – разнообразие экосистем, определяемое разнообразием природных условий и деятельностью человека.

По масштабам экосистемы делятся на микроэкосистемы (трухлявые пни, мёртвые стволы деревьев, муравейники и др.) и макроэкосистемы (экосистемы тундры, тайги, степи, пустыни, саванн, лесов, а также морские экосистемы). По происхождению экосистемы делятся на природные (леса, реки, озера) и искусственные (сады, парки, огороды, поля, искусственные водоёмы). Разнообразие природных систем определяют условия природных зон и прежде всего освещение и температура. Существование искусственных экосистем зависит от человека, который с учётом природных условий организует их формирование. По происхождению различают наземные (широколиственные леса, степи, луга), пресноводные (озёра, пруды, водохранилища, реки, ручьи, родники, болота), морские (прибрежные воды, бухты, устья рек).

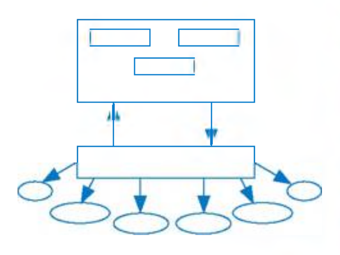
Исследование экосистем начинается с наблюдений, проводимых с помощью приборов. Проводимые на оборудованных участках экосистем комплексные и долгосрочные наблюдения являются основанием экологического мониторинга. Широко применяются в экологии и экспериментальные методы. С их помощью сопоставляются результаты наблюдений за изменениями на контрольном и опытном участках экосистем. В связи со сложностью экосистем учёные используют экологическое моделирование с изучением упрощённых копий экологических объектов. Например, аквариум можно рассматривать как модель озера. Методы экологической индикации применяют для определения состояния и свойств экосистем по видовому составу и соотношению определённых (эталонных) групп видов. Так, индикаторами присутствия сернистого газа в воздухе служат лишайники и хвойные породы, тяжёлых металлов – слива и фасоль, загрязнения водоёмов – однодневки, личинки комаров, двустворчатые моллюски, пиявки, малощетинковые черви, высшие ракообразные.

Итак, экосистемы классифицируют по разным критериям и для их исследования применяют разнообразные методы.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Работа со схемой

Заполните в рабочей тетради схему «Состав экосистемы», используя понятия: 1) продуценты; 2) консументы; 3) редуценты; 4) биотическая часть (биоценоз); 5) круговорот веществ, энергии и информации; 6) абиотическая часть (биотоп); 7) органические соединения; 8) неорганические соединения; 9) свет; 10) температура; 11) почва; 12) воздух.



### Биология + Наука



*Биотестирование* – это определение опытным путём воздействия вредных факторов на живые организмы методом регистрации изменений определённого биологического показателя. Тест-объектами могут быть кресс-салат, медицинская пиявка, хлорелла, инфузории, плесневые грибы, но чаще всего в биотестировании используют дафнии. Какие особенности строения и жизнедеятельности дафний обусловливают их использование в качестве тест-объектов?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Экология



«Африканизированная» медоносная пчела была выведена генетиком У. Керром в Бразилии путём скрещивания африканских пчёл с различными европейскими подвидами этого насекомого. Новую породу отличали не только редкая выносливость и медоносность, но и чрезвычайная агрессивность. Во время одного из экспериментов 26 пчелиных семей случайно оказались на свободе и распространились в лесах по всей Южной Америке. Сейчас они «наступают» на Мексику и США. Для каких экосистем (природных или искусственных) вторжение этой пчелы будет опасным и почему? Сделайте вывод о целостности и саморегуляции экосистем.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое экосистема? 2. Приведите примеры экосистем. 3. Что такое структура экосистемы? 4. Назовите основные виды структуры экосистемы. 5. Что такое экосистемное разнообразие? 6. Назовите методы исследования процессов в экосистемах. |
| 7 – 9 | 7. Каковы состав и основные свойства экосистем? 8. Зависит ли устойчивость экосистемы от её структуры? 9. Как исследуют экосистемы? |
| 10 – 12 | 10. Объясните структуру экосистем. |

*Энергия не может быть ни рождена, ни уничтожена, она может быть только трансформирована из одной формы в другую.*
*Закон сохранения энергии*

# § 55. ЭКОСИСТЕМЫ И ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ

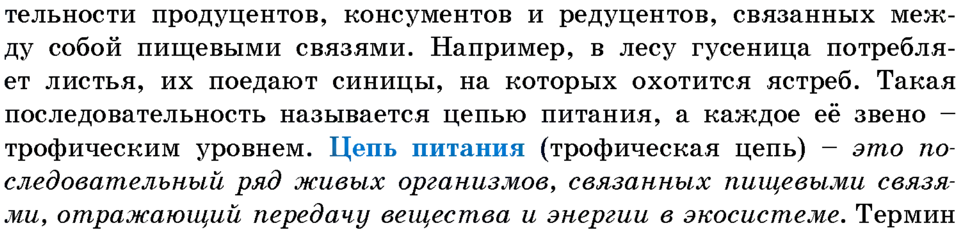
**Основные понятия и ключевые термины: Цепи питания. Правило экологической пирамиды. Круговорот веществ и поток энергии.**

**Вспомните!** Что такое экосистема?



**Подумайте!**

Что связывает эти организмы между собой?





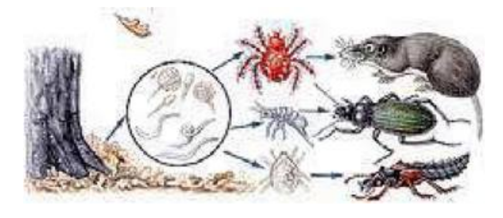
## СОДЕРЖАНИЕ

### Какие связи являются определяющими в функционировании экосистемы?

Внутри экосистемы обмен веществ, энергии и информации осуществляется благодаря деятельности продуцентов, консументов и редуцентов, связанных между собой пищевыми связями. Например, в лесу гусеница потребляет листья, их поедают синицы, на которых охотится ястреб. Такая последовательность называется цепью питания, а каждое её звено – трофическим уровнем. **Цепь питания** (трофическая цепь) – *это последовательный ряд живых организмов, связанных пищевыми связями, отражающий передачу вещества и энергии в экосистеме.* Термин «цепь питания» предложил Ч. Элтон в 1934 г. Первым звеном большинства цепей питания являются **продуценты** – автотрофные организмы. Следующие звенья трофических цепей занимают гетеротрофные **консументы:** растениеядные, хищные и всеядные животные. Остатки организмов ещё содержат органические вещества и энергию, поэтому могут быть использованы **редуцентами.** Это сапротрофные бактерии, грибы и животные. Таким образом, функциональными компонентами экосистем являются продуценты, консументы и редуценты.



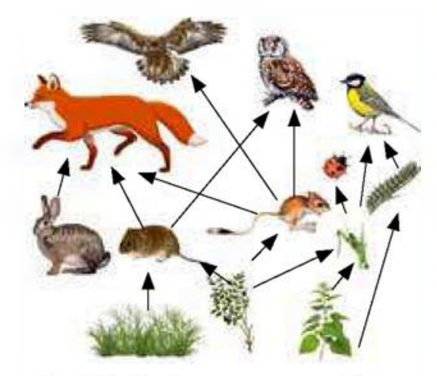
Ил. 149. Трофические уровни цепей выедания: листья растений – растениеядные насекомые – хищные насекомые – насекомоядные птицы – хищные птицы



Ил. 150. Трофические уровни цепей расщепления: опавшие листья (детрит) – почвенные сапротрофы (бактерии, грибы, амёбы, инфузории, черви) – почвенные сапрофаги (хищные насекомые, клещи) – хищные насекомые, насекомоядные млекопитающие

По источнику поступления энергии к консументам цепи питания делятся на пастбищные и детритные. ***Пастбищные***, или цепи выедания (*ил. 149*), – *это ряд организмов, который начина-*

*ется с зелёных растений* (например, трава – зелёный кузнечик – ящерица – ястреб). ***Детритные***, или цепи расщепления (*ил. 150*), – *это ряд организмов, который начинается с мёртвого органического вещества* (например, опавшие листья – дождевой червь – крот – лиса).



Ил. 151. Трофическая сеть дубравы

В любой экосистеме различные цепи питания не существуют отдельно друг от друга, а взаимосвязаны, поскольку один и тот же вид одновременно может быть звеном различных цепей питания. Переплетаясь, цепи питания формируют ***сеть питания*** (***трофическую сеть***) (*ил. 151*).

Итак, функционирование экосистем обеспечивается пищевыми связями, объединяющими продуцентов, консументов и редуцентов в цепи и сети.

## Каковы основные закономерности функционирования экосистем?

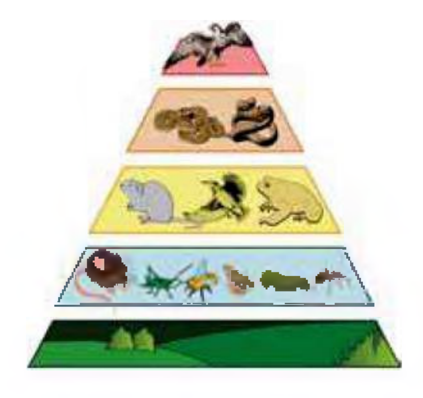
**ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ** – *совокупность процессов, обеспечивающих деятельность, существование и развитие экосистемы во времени*. Основные закономерности функционирования экосистем таковы.

1. **Правило экологической пирамиды** (закон пирамиды энергии Р. Линдемана (1942), правило «десяти процентов»): *экологическая эффективность каждого последующего звена примерно в 10 раз меньше предыдущего вследствие потерь энергии на каждом трофическом уровне*.

Графически это правило можно изобразить в виде пирамиды, составленной из отдельных блоков (*ил. 152*). ***Экологическая пирамида*** – *это графическое отображение трофической структуры цепи питания*. В зависимости от показателя, положенного в основу, различают такие виды экологических пирамид:

- *пирамида чисел* – отражает количество особей в каждом уровне цепи питания; может быть обратной;
- *пирамида биомассы* – количество органического вещества; только прямого типа;
- *пирамида энергии* – количество энергии в пище; только прямого типа.

2. **Закон однонаправленности потока энергии:** *энергия, которую получает экосистема, передается в одном направлении от продуцентов к консументам и редуцентам.*



Ил. 152. Экологическая пирамида

Эта закономерность иллюстрирует второй закон термодинамики: любой вид энергии в конце концов превращается в теплоту.

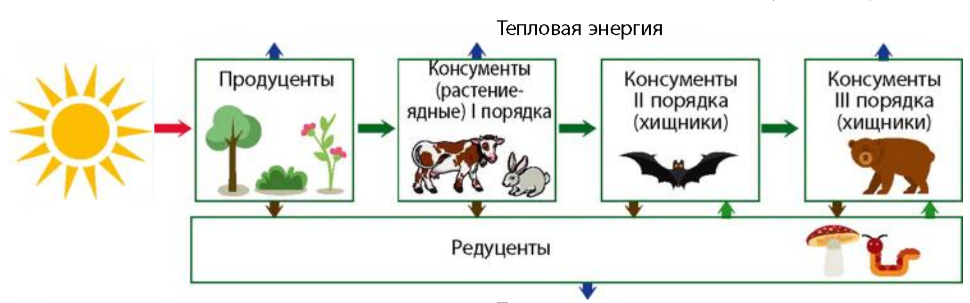
**3. Закон внутреннего динамического равновесия:** *вещество, энергия, информация и процессы, их связывающие, находятся в тесной взаимосвязи*. Изменение одного из показателей неизбежно приводит к изменениям других при условии сохранения фундаментальных свойств – саморегуляции, самообновления и самовосстановления.

Итак, основные закономерности функционирования экосистем: правило экологической пирамиды, закон однонаправленности потока энергии и закон внутреннего динамического равновесия.

**Что является основным условием функционирования экосистем?**

**Круговорот веществ и поток энергии в экосистеме** – *перенесение веществ и энергии в экосистеме, осуществляемое при участии продуцентов, консументов и редуцентов*. Источником энергии для подавляющего большинства экосистем нашей планеты является Солнце. Его энергию поглощают зелёные растения и «связывают» в органические вещества, образующиеся в процессах фотосинтеза. Далее эта связанная Солнечная энергия в виде зелёной органической массы (первичная продукция) поедается растениеядными животными, которые, в свою очередь, служат пищей для хищников.

Для понимания сути круговорота веществ и потока энергии в экосистемах следует запомнить, что круговорот веществ в экосистеме имеет циклический характер, а поток энергии – линейный. Питательные элементы и соединения, поступающие в организмы из абиотической части, в конце концов к нему и возвращаются в виде остатков или продуктов жизнедеятельности живых существ. В круговороте веществ участвует множество химических элементов и соединений, но важнейшими из них являются круговорот воды, кислорода, углекислого газа. Поток энергии в экосистемах имеет другую направленность. Энергия Солнца поступает в организмы, которые превращают её в химическую, механическую, световую, и при этом превращение одного вида энергии в другой, согласно второму закону термодинамики, сопровождается потерями в виде теплоты. В конце концов вся энергия, поступившая к живому компоненту экосистемы, рассеивается в среде (*ил. 153*).




Ил. 153. Обмен веществ и энергии в экосистеме

Итак, в экосистемах происходит постоянный круговорот веществ и линейный поток энергии, что является обязательным условием их существования.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Распознайте названные организмы по экологической роли в сетях питания экосистем: 1) клевер луговой; 2) кузнечики зелёные; 3) мышь полевая; 4) заяц-русак; 5) жук-гробарик; 6) яблоня лесная; 7) улитка виноградная; 8) земляника; 9) жук-солнышко; 10) личинки мух; 11) лещина; 12) бактерии гниения. С помощью таблицы сравните роль продуцентов, консументов и редуцентов в экосистемах. Составьте несколько пастбищных цепей питания.

**Сравнительная характеристика продуцентов, консументов и редуцентов**

| Признак | Продуценты | Консументы | Редуценты |
|---|---|---|---|
| Организмы | | | |
| Тип питания | | | |
| Роль в экосистемах | | | |

### Практические упражнения «Построение экологических пирамид»

**Упражнение 1.** На основании правила экологической пирамиды определите, сколько фитопланктона необходимо, чтобы в Арктике смог вырасти и существовать один белый медведь весом 400 кг (цепь питания: фитопланктон – зоопланктон – рыбы – тюлени – белый медведь)? Постройте прямую экологическую пирамиду биомассы.

**Упражнение 2.** Жгутиковые одноклеточные животные являются паразитами блох, средой обитания для которых служат растениеядные млекопитающие. Постройте пирамиду численности (чисел) для цепи питания: травянистые растения (10 000) – растениеядные млекопитающие (1) – блохи (100) – одноклеточные животные-паразиты (1 000). Постройте обратную экологическую пирамиду численности.



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Геометрия

Как определяется площадь пирамиды? Почему экологическая закономерность, связанная с передачей энергии в цепях питания, названа правилом экологической пирамиды, а не правилом экологического треугольника?





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое цепи питания? 2. Приведите примеры цепей питания. 3. Что такое функционирование экосистемы? 4. Назовите закономерности функционирования экосистем. 5. Что такое круговорот веществ и поток энергии? 6. Каково значение круговорота веществ и потока энергии в экосистемах? |
| 7 – 9 | 7. Какие связи являются определяющими в функционировании экосистем? 8. Каковы закономерности функционирования экосистем? 9. Что является основным условием функционирования экосистем? |
| 10 – 12 | 10. Примените знания функционирования экосистем для обоснования мер их сохранения. |

*Все экологические факторы, если они действуют с постоянной интенсивностью, являются одновременно факторами эволюции.*
*Из учебника «Общая биология»*

# § 56. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

**Основные понятия и ключевые термины: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ. Ограничительный фактор. Экологическая валентность.**

**Вспомните!** Что такое экология?

**Знакомьтесь!**

**Тиходоки**, или водяные мишки, распространены повсеместно и выдерживают температуры от −273 до + 150 °С, дозы радиации – в 570 тысяч рентген. Учёные объясняют такую выносливость тем, что тиходоки «наодалживали» около 18 % ДНК у организмов-экстремофилов – архей, бактерий, мхов и грибов. Как вы думаете, есть ли экологические факторы, влияние которых они не выдерживают?





## СОДЕРЖАНИЕ

### Чем определяется разнообразие экологических факторов?

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ – *это все компоненты окружающей среды, влияющие на живые организмы и их группировки*. Примеры экологических факторов: свет, температура, взаимное влияние организмов и др. Факторы среды называют экологическими, лишь если они для живых систем имеют определённое значение. Каково же биологическое значение экологических воздействий? Под действием факторов среды происходят формирование приспособлений на разных уровнях организации жизни (*адаптационное значение*), изменения приспособлений в ответ на изменения среды (*модификационное значение*). Действие света или звука является источником информации о состоянии среды (*сигнальное значение*), магнитные влияния обеспечивают определение местонахождения или направлений перемещения в пространстве (*бионавигационное значение*), температурное воздействие способствует или наоборот ограничивает распространение и др. Вся совокупность воздействий экологических факторов – основная причина генетического, видового и экосистемного биоразнообразия.

В экологии выделяют несколько групп экологических факторов, которые классифицируют: по происхождению (космические, техногенные), по среде образования (атмосферные, гидрологические, эдафические, или почвенные), по характеру воздействия (физические, химические, биологические) и др.

Но наиболее распространённой является классификация экологических факторов по природе воздействия: *абиотические* (влияние факторов неживой природы), *биотические* (влияние факторов живой природы) и *антропические* (прямое и опосредованное влияние деятельности человека).

| Экологические факторы | | |
|---|---|---|
| **Абиотические** | **Биотические** | **Антропические** |
| *Климатические* (влияние света, температуры, влажности)<br>*Атмосферные* (влияние воздуха)<br>*Едафические* (влияние почвы)<br>*Гидрологические* (влияние воды)<br>*Топографические* (влияние рельефа) | *Симбиотические* (мутуализм, комменсализм, паразитизм)<br>*Нейтральные*<br>*Антагонистические* (хищничество, выедание, конкуренция) | *Техногенные* (влияние отраслей промышленности)<br>*Антропогенные* (непосредственное влияние человека) |

Итак, разнообразие экологических факторов связано с разнообразием условий окружающей среды, влияющим на существование живого и определяющим биологическое разнообразие.

## Как экологические факторы действуют на организмы?

Несмотря на разнообразие экологических факторов, существуют определённые общие закономерности их влияния на организмы и группировки. Каковы же эти основные закономерности?

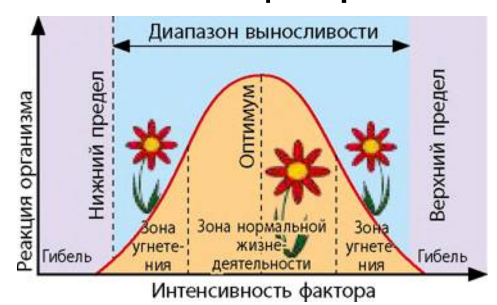
- **Правило адаптивности:** в ответ на воздействие условий среды у организмов в процессе эволюции формируются приспособления (например, адаптация рыб к жизни в воде).
- **Закон оптимума:** каждый фактор положительно влияет на жизнедеятельность организмов только в определённых пределах. Состояние организма, популяции или экосистемы, при котором они проявляют высокие показатели жизнедеятельности, описывают понятием *экологический оптимум*.
- **Правило взаимодействия экологических факторов:** при совместном действии на организм одни факторы могут усиливать или ослаблять влияние других факторов. Так, влияние температуры среды может усиливать повышенная влажность.
- **Правило ограничительного фактора:** жизнедеятельность вида ограничивается тем фактором, действие которого наиболее удалено и оптимально (*ил. 154*). *Ограничительный фактор* – это фактор среды, который больше всего отклоняется от оптимума действия среди остальных факторов и выходит за пределы выносливости. Автором этой закономерности является немецкий химик Ю. Либих (1803–1873), сформулировавший её как закон минимума ещё в 1840 г. Чаще всего лимитирующим фактором являются вода, температура, пища. Так, жизнедеятельность ручьевой форели ограничивается содержанием кислорода в воде.
- **Правило экологической ниши:** организмы приспосабливаются ко всей совокупности факторов, действующих на них, то есть каждый вид имеет свою *экологическую нишу* – совокупность всех факторов среды, при которых возможно существование вида.




Ил. 154. Бочка Либиха, иллюстрирующая ограничительный фактор

Итак, существование организмов определяется комплексным влиянием экологических факторов.

## Как влияет на организм тот или иной экологический фактор?




Ил. 155. Схема действия экологического фактора

На организм одновременно воздействует много разных факторов, и действие каждого из них можно представить в виде общей схемы (*ил. 155*). Весь диапазон изменчивости фактора, в пределах которого возможна жизнедеятельность организмов, называют ***зоной экологической валентности*** (диапазоном выносливости). Минимальные и максимальные значения фактора, при которых жизнедеятельность особей становится невозможной и они погибают, называются пределами выносливости. Различают ***нижнюю*** и ***верхнюю границы выносливости***. В 1913 г. американский зоолог В. Шелфорд (1877–1968) в опытах с насекомыми пришёл к выводу, что ***как минимум, так и максимум экологического воздействия может быть ограничивающим фактором***. В экологии эта закономерность называется **законом толерантности Шелфорда**.

Значения фактора, наиболее благоприятные для жизнедеятельности организмов и при которых наблюдаются рост и размножение организмов, называют оптимальными, а соответствующие значения фактора – оптимумом. Эти значения образуют ***зону нормальной жизнедеятельности***. Между зоной оптимума и пределами выносливости расположены ***зоны угнетения*** (зоны пессимума, или стрессовые зоны). Организмы при этих значениях фактора живут, но не растут и не размножаются.

**Экологическая валентность** (*экологическая толерантность*) – *способность организмов успешно противостоять воздействию внешних факторов в определённом интервале данного биотопа, или, другими словами, адаптация видов к определённым условиям существования.* Количественно она охватывает диапазон между нижним и верхним пределами выносливости. Экологическая валентность разных видов может значительно отличаться. Так, северные олени выдерживают колебания температуры воздуха от –55 до + 30 °С, а тропические кораллы погибают при изменении температуры на 5–6 °С.

По экологической валентности организмы делятся на стенобионтов и эврибионтов. Стенобионты (от греч. *стенос* – узкий и *биос* – жизнь) – организмы, которые могут жить лишь при незначительном изменении факторов среды. Это симбионты, обитатели морских глубин, пещер, лесов высокогорья (например, колибри, осоеды, коала, форель, рыбы-удильщики). Эврибионты (от греч. *эври* – широкий и *жизнь*) – организмы, которые могут жить при значительных изменениях факторов среды. Это в основном жители умеренных широт (например, крысы, тараканы, свиньи, бурый медведь, вороны).

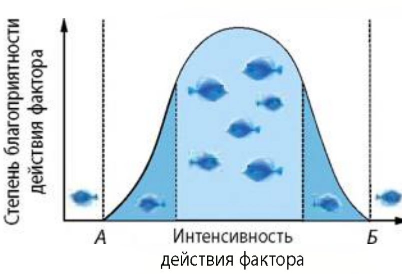
Итак, для каждого фактора, действующего на организм, существуют зона экологической валентности, зона нормальной жизнедеятельности, зоны подавления и предела выносливости.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Проанализируйте предложенные утверждения и укажите правильные.
1. Границы выносливости вида обозначены точками А и Б.
2. Затемнённые участки соответствуют зонам угнетения.
3. Между зонами угнетения расположена зона экологической валентности.
4. Между пределами выносливости А и Б – зона нормальной жизнедеятельности.




### Биология + Экология

Проанализируйте названные примеры взаимоотношений организмов, сопоставьте их с иллюстрациями и определите виды биотических факторов: А – мутуализм, Б – каннибализм, В – комменсализм, Г – паразитизм, Д – выедание, Е – конкуренция; 1 – крокодил-самец поедает молодого крокодила, 2 – рыбка-клоун и актиния, 3 – клёст питается семенами ели, 4 – черепаха и рыбы-прилипалы, 5 – раффлезия и корни лианы в тропическом лесу, 6 – турнир жуков-оленей. Докажите комплексное воздействие экологических факторов на организм.





## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Наука

Определите вклад учёных (на иллюстрации слева направо В. Вернадский, В. Шелфорд, Ю. Либих, Э. Геккель) в развитие экологии. Каково значение знаний экологических закономерностей в практической деятельности человека?








## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое экологические факторы? 2. Назовите экологические факторы. 3. В чём суть комплексного воздействия факторов на организм? 4. Назовите основные закономерности действия экологических факторов. 5. Что такое ограничительный фактор? 6. Что такое экологическая валентность? |
| 7 – 9 | 7. Чем определяется разнообразие экологических факторов? 8. Как экологические факторы действуют на организмы? 9. Как влияет на организм отдельный экологический фактор? |
| 10 – 12 | 10. Каково значение знаний экологических закономерностей для человека? |

*Между организмами и средой существуют тесные взаимоотношения, взаимозависимости и взаимовлияние.*
*Закон единства среды и организмов*

## § 57. СРЕДА ОБИТАНИЯ

**Основные понятия и ключевые термины: СРЕДА ОБИТАНИЯ.**

**Вспомните!** Что такое экологические факторы?

**Знакомьтесь!**



*Соня садовая* (*Eliomys quercinus*) – единственный вид грызунов семейства соневых в фауне Украины, изредка встречающийся в хвойно-широколиственных лесах и садах Полесья и Лесостепи. Занесён в Красную книгу Украины как исчезающий вид. Изменение каких условиях их среды обитания является причиной такого состояния вида?



**СОДЕРЖАНИЕ**

### Каковы компоненты среды обитания?

**СРЕДА ОБИТАНИЯ** – *это часть пространства, в котором живут особи, популяции и группировки организмов разных видов*. Среда обитания образована определёнными экологическими факторами, оказывающими прямое или косвенное влияние на организм. Температура, солёность воды, свет, ветер, влажность – экологические факторы, создающие ***условия существования организмов***. А такие факторы, как пища, вода, гумус, кислород, которые организмы используют для жизнедеятельности, – это ***ресурсы среды обитания***.

Главной закономерностью во взаимодействии организмов со средой их обитания является неразрывная устойчивая двусторонняя связь. Среда обитания – это источник веществ, энергии и информации, изменяет живое, формирует адаптации, способствует появлению новых популяций и видов. В то же время и организмы изменяют среду обитания, и роль их в этом чрезвычайно велика. Почвообразование, биофильтрация, азотофиксация, образование осадочных пород, минерализация остатков – это лишь небольшой перечень тех процессов, которые влияют на ресурсы и условия среды обитания. Эта закономерность называется ***законом единства среды и организмов***. Её автор – выдающийся украинский учёный ***В. И. Вернадский*** (1863–1945).

Основные типы среды обитания для организмов нашей Земли в природе – ***наземно-воздушная***, ***водная***, ***почвенная*** и ***гостальная*** (организм хозяина). Организмы могут жить в одной или нескольких средах. Например, рыбы приспособлены к водной среде, амфибии живут на суше, а размножаются в воде, пингвины или ластоногие питаются в воде, а размножаются на суше. Многие насекомые и амфибии начинают жизнь в одной среде, а продолжают в другой.

В подобных условиях среды обитания у разных видов вырабатываются подобные адаптационные комплексы, являющиеся основой для

выделения жизненных форм организмов. У высших растений различают такие жизненные формы, как деревья, кусты, травы, а у животных – наземные, подземные, древесные, воздушные и водные.

Итак, среда обитания является частью природы, с условиями и ресурсами которой организмы постоянно взаимодействуют.

**Какие особенности отличают среды обитания?**

***Наземно-воздушная среда обитания*** – *это абиотическая разнообразная по условиям существования среда жизни организмов.* Свет является основным фактором, обусловливающим наличие адаптивных биоритмов: *суточных* (открывание и закрывание цветков, сон у животных), *месячных* (закапывание крабов в песок перед приливом), *сезонных* (линька у птиц, листопад у растений), *годовых* (массовое размножение саранчи). Значение света для различных организмов связано с ультрафиолетовыми, видимыми и инфракрасными лучами. Свет является фактором для явлений ***фотопериодизма*** (*способность организмов реагировать на продолжительность светового периода суток*) и ***биологических часов*** (*способность организмов реагировать на течение времени*). Температура – достаточно часто ограничивающий фактор. Она влияет на скорость процессов обмена веществ и определяет механизмы терморегуляции. Значение воды как экологического фактора проявляется её участием в процессах испарения, транспортирования веществ, оплодотворения и др. В воздухе наибольшее содержание $O_2$ и $CO_2$, что важно для дыхания, фотосинтеза, регуляции жизнедеятельности. В этой среде наиболее распространёнными животными являются ***аэробионты*** (большинство летающих насекомых, птиц), наземные (пресмыкающиеся, млекопитающие), ***дендробионты*** (соня садовая, древесные квакши), а из растений – голо- и покрытосеменные (*ил. 156*). Адаптации жителей обеспечивают быстрое и активное перемещение (миграции, перелёты), добыча и сохранение воды, жиров, углеводов, защита от перегревания или замерзания, интенсивный фотосинтез и др.




Ил. 156. Жители наземно-воздушной среды обитания: 1 – калина; 2 – воробей домовый

***Водная среда обитания*** – *это жидкая абиотическая среда обитания.* Условия существования в пределах среды определяются, в первую очередь, физическими свойствами воды. Это высокая теплоёмкость, низкая теплопроводность, расширение перед замерзанием, высокая плотность, поверхностное натяжение, текучесть, прозрачность, высокая растворимость и др. Поэтому температурный режим среды относительно постоянен. Освещённость водоёмов быстро уменьшается с глубиной. Как правило, на глубинах более 250 м фотосинтезирующие организмы существо-




Ил. 157. Жители водной среды обитания: 1 – ряска; 2 – рак речной

вать не могут. Из-за слабой растворимости содержание кислорода в воде незначительно. В пресной и особенно морской воде содержание $CO_2$ значительно выше (в 150 раз больше, чем в атмосфере), что сказывается на фотосинтезе водорослей и формировании защитных известняковых образований (раковин, панцирей) беспозвоночных. Обитателей водоёмов называют ***гидробионтами*** и среди них выделяют такие экологические группы, как нейстон, планктон, нектон и бентос. Наиболее распространённые группы водной среды: водоросли, кишечнополостные, ресничные черви, ракообразные, моллюски, иглокожие, рыбы (*ил. 157*). Основными адаптациями гидробионтов являются: у животных – активное движение, приспособления для увеличения плавучести, жаберное дыхание, внешнее оплодотворение, биолюминесценция, биофильтрация и др.; у растений – увеличенная поверхность тела, слабое развитие проводящих и механических тканей, развитие межклетников у растений и др.

***Почвенная среда обитания*** – твёрдая абиотическая среда. Почва как среда обитания характеризуется высокой плотностью, вода и воздух содержатся в полостях между частичками почвы, состав воздуха отличается от атмосферного (содержание $CO_2$ в 10–100 раз выше, а кислорода – в несколько раз меньше, чем в атмосфере). В ней нет воздействия света, влажность всегда выше, чем воздуха, амплитуда суточных и годовых колебаний температуры невелика и др. Жители почвенной среды – ***эдафобионты*** (*ил. 158*). В верхних слоях почвы живут цианобактерии, водоросли, грибы, лишайники, корневые системы растений. Среди животных наиболее представлены беспозвоночные (почвенные амёбы, инфузории, черви, клещи, насекомые). Основные адаптации: минеральное питание, уменьшённые размеры и тонкие покровы тела, роющие конечности, вертикальные миграции, слабая пигментация тела, гетеротрофное питание и др.






Ил. 158. Жители почвенной среды: 1 – белый гриб; 2 – дождевой червь

***Гостальная среда обитания*** – *это биотическая среда обитания, связанная с живыми организмами*. Особенности этой части пространства определяются строением тела и условиями внутренней среды организмов-хозяев (pH, температура). Гостальную среду отличают стабильность температурных условий, защитные вещества и ткани, низкое содержание кислорода, отсутствие воздействия света и др. Жители среды живут внутри организмов (***эндобионты***) или на поверхности тела (***экзобионты***). В зависимости от характера взаимосвязей между партнёрами формируются различные типы симбиоза. Так жителями гостальной среды являются мутуалисты, комменсалы, паразиты и полупаразиты (*ил. 159*). Основные адаптации жителей этой среды:






Ил. 159. Типичные симбионты: 1 – омела белая; 2 – ксантория настенная

взаимозависимое питание, упрощение или потеря органов, развитая половая система, значительная плодовитость, органы прикрепления, сложные жизненные циклы, анаэробное дыхание и др.

Итак, среды обитания отличаются особенностями различных факторов, но определяющими являются особенности влияния света, температуры, воды и воздуха.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

Сравните среды обитания и сделайте вывод о причинах сходства и различий между ними.

| Признак | Наземно-воздушная | Водная | Почвенная | Гостальная |
|---|---|---|---|---|
| Тип среды | | | | |
| Особенности | | | | |
| Обитатели | | | | |
| Адаптации | | | | |

### Биология + Символика





Фенек (*Vulpes zerda*) – это маленькое животное рода Лисица. Она является логотипом и кодовым названием браузера *Mozilla Firefox*, фигурирует в произведении А. де Сент-Экзюпери «Маленький принц». Это животное – иллюстрация экологических правил Бергмана и Аллена. С помощью экологического словаря определите суть этих экологических закономерностей.



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Экология

Определите среду обитания изображённых представителей животного мира. Назовите у одного из них (на выбор) адаптации к воздействию экологических факторов. На конкретном примере докажите справедливость закона единства организма и среды.











## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое среда обитания? 2. Назовите типы сред обитания. 3. Что такое наземно-воздушная среда обитания? 4. Каковы особенности водной среды обитания? 5. Приведите примеры жителей почвенной среды обитания? 6. Приведите примеры адаптации организмов гостальной среды обитания. |
| 7 – 9 | 7. Назовите компоненты среды обитания. 8. Какие особенности отличают среды обитания? 9. Назовите адаптации организмов к среде обитания. |
| 10 – 12 | 10. Докажите взаимосвязь организмов со средой обитания. |

*Так всё когда-то пройдет, всё, что сотворит человеческий дух,*
*Непременным остаётся лишь непрерывное, вечное движение.*
*В. Самойленко*

## § 58. ЭКОСИСТЕМЫ И ИХ СТАБИЛЬНОСТЬ

**Основные понятия и ключевые термины:** **СТАБИЛЬНОСТЬ ЭКОСИСТЕМЫ. Экологическая сукцессия. Искусственные экосистемы.**

**Вспомните!** Что такое экосистемы?



**Подумайте!**



В 1884 г. французский химик и физик *Анри Луи Ле Шателье* (1850–1936) сформулировал принцип: *если на систему, находящуюся в состоянии равновесия, подействовать фактором, то равновесие смещается в направлении процесса, который ослабляет это действие.* Можно ли применить этот принцип к экосистемам?



### СОДЕРЖАНИЕ

### Как обеспечивается стабильность экосистем?

**СТАБИЛЬНОСТЬ (УСТОЙЧИВОСТЬ) ЭКОСИСТЕМЫ** – *способность экосистемы сохранять свою структуру и функционирование под действием внешних факторов.* Любая экосистема, трухлявый пень или большая река, имеет внутренние механизмы саморегуляции для поддержания постоянства состава и функционирования, то есть экологического гомеостаза, но у разных экосистем он будет разным. Возникает вопрос, почему?

| Основные условия стабильности экосистем |
|---|
| 1. Значительное видовое разнообразие |
| 2. Высокая первичная биопродукция |
| 3. Сложность цепей питания |
| 4. Разветвлённость трофических сетей |
| 5. Полнота минерализации остатков |

Основное условие стабильности экосистем – видовое разнообразие. Виды-продуценты обеспечивают образование большого количества первичного органического вещества, от которого зависят следующие звенья цепей питания. Большое количество пищи способствует существованию консументов нескольких порядков, среди которых есть взаимозаменяемые виды, сходные по своим экологическим функциями. Благодаря этому возникают разветвлённые трофические сети, обеспечивающие функционирование экосистемы, если уменьшается количество отдельных видов. И наконец, значительное количество видов-редуцентов осуществляет полную минерализацию органических остатков до неорганических соединений: их могут снова использовать продуценты. ***Таким образом, чем больше разнообразие видов в экосистеме, тем выше будут её стабильность и продолжительность существования.***

Экосистемы являются динамическими структурами из многих видов продуцентов, консументов, редуцентов, связанных между собой трофическими цепями. Равновесие в системах «хищник – жертва», «опылители – цветочные растения», «фитофаг – растение», «паразит –

хозяин» устанавливается как эволюционные отношения на протяжении многих тысяч лет. За это время виды адаптируются друг к другу и к среде обитания.

Экосистема только стремится к стабильности, но никогда её не достигает: во-первых, изменяются внешние условия, во-вторых, виды изменяют среду обитания.

В зависимости от способности экосистем поддерживать своё динамическое равновесие их разделяют на *динамически устойчивые* (экосистема устойчиво функционирует в широком диапазоне изменений окружающих воздействий, и в ней много взаимозаменяемых видов) и *динамично неустойчивые* (экосистема функционирует в ограниченном диапазоне изменений окружающих воздействий, и в ней немного взаимозаменяемых видов). Так, коралловый риф, ручей, пруд – примеры неустойчивых экосистем, а широколиственный лес, степь, тайга, буковый карпатский пралес – устойчивых (*ил. 160*).



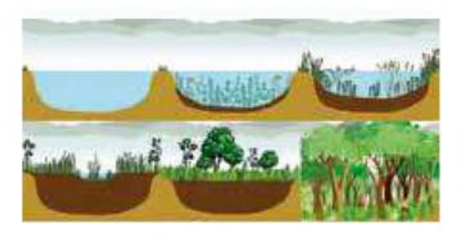
Ил. 160. Коралловый риф (1) и буковый карпатский лес (2)

Итак, стабильность экосистем зависит от механизмов саморегуляции экосистемы, связанных с видовым биоразнообразием.

### Каково значение и этапы экологических сукцессий?

Стабильность экосистем обеспечивается механизмами саморегуляции при более или менее стабильных условиях окружающей среды. Но в случае изменения этих условий в них происходят изменения.

**Экологические сукцессии** (лат. *succesio* – преемственность) – *направленные последовательные изменения группировок организмов на определённом участке среды, которые приводят к восстановлению или преобразованию экосистемы в соответствии с природными условиями*. Основателем теории сукцессий является ***Ф. Клементс*** (1874–1945). Причинами сукцессий могут быть: изменения климата, природные катаклизмы (извержения вулканов, землетрясения, наводнения), вымирание или акклиматизация видов, неполнота круговорота веществ, влияние человека – основной фактор изменений современных экосистем (*ил. 161*).



Ил. 161. Пример сукцессий

По особенностям формирования сукцессии делят на первичные и вторичные. ***Первичные сукцессии*** – это появление и развитие группировок в местах, где их раньше не было (например, развитие экосистем на скальных породах, оползнях, отмелях рек, вулканических островах). ***Вторичные сукцессии*** – это восстановление природных со-

обществ после определённых нарушений (например, восстановление лесов после пожаров или вырубки, степей – после распашки). Таким образом, ***экологические сукцессии являются механизмами появления, развития, самоподдержания и восстановления экосистем!***

Каковы основные этапы формирования сукцессий?

- Процесс сукцессии начинается с заселения лишайниками, низшими грибами и растениями. Впоследствии на этих участках формируются или восстанавливаются зооценозы и микробиоценозы.
- Группировки организмов, которые существуют в начале сукцессий, называются ***пионерными***. Они обычно неустойчивы, с незначительным видовым разнообразием, несложными цепями питания, слабой минерилазацией остатков и др.
- Пионерные группировки сменяются ***промежуточными группировками***. Это также неустойчивые группировки, но в них увеличивается видовое разнообразие, разветвляются трофические сети и др.
- Завершаются сукцессии, как правило, формированием ***зрелых*** (***климаксных***) ***экосистем*** с максимально возможной в данных природных условиях степенью устойчивости.

Итак, постоянные изменения среды обитания вызывают сукцессии, конечная цель которых – достижение стабильного состояния.

## Какие особенности искусственных экосистем?

**Искусственные экосистемы** – *это обеднённые видами группировки растений, животных, грибов и микроорганизмов, созданные человеком.* Их назначение состоит в обеспечении человека пищей и сырьём, создании условий проживания, организации научных исследований и др.

Одна из определяющих особенностей искусственных экосистем – преобладание одного или нескольких доминантных видов организмов, что сказывается на длине трофических цепей, сложности трофических сетей и т. п. В таких экосистемах действует в основном искусственный отбор, направленный на максимальную производительность организмов, необходимых человеку. Искусственные экосистемы имеют ограниченный видовой состав, не способны к саморегуляции, неустойчивы по своей природе, поскольку в условиях стресса они уязвимы для конкурентов, возбудителей болезней, паразитов, хищников и др. Человек должен постоянно вмешиваться в структуру и функционирование экосистем, чтобы предотвратить изменения.

Создавая искусственные экосистемы, человек должен понимать их особенности и организовывать ландшафты таким образом, чтобы не нарушалась стабильность природных больших экосистем. Сады или поля должны чередоваться с лесами, природными водоёмами, лугами и биогеоценозами других типов (*ил. 162*). Всё это будет обеспечивать то многообразие, что является залогом стабильности отдельных экосистем и природы в целом.



Ил. 162. Поле рядом с лугами как пример соблюдения экологической культуры в бизнесе

Итак, искусственные экосистемы имеют ту же структуру (абиотическую и биотическую части), условия существования (видовое разнообразие, цепи питания и т. п.), но лишены таких свойств, как стабильность и устойчивость во времени.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на сопоставление

Сравните с помощью таблицы природные и искусственные экосистемы и сформулируйте вывод об их стабильности во времени.

| Признак | Экосистемы | |
|---|---|---|
| | природные | искусственные |
| Тип экосистем (по устойчивости) | | |
| Причины возникновения | | |
| Видовое биоразнообразие | | |
| Трофические сети | | |
| Степень биопродуктивности | | |
| Саморегуляция | | |
| Источник энергии | | |
| Круговорот веществ и поток энергии | | |
| Господствующая форма отбора | | |

## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Экология

В современной экологии появился термин виды-агрессоры (от лат. *aggressio* – нападение). Эти виды быстро распространяются на новых территориях и вытесняют аборигенные виды. Так, среди растений к такой группе относят *борщевик Сосновского* (*ил. 163, 1*), амброзию полыннолистную и др. Среди животных – это рыбы серебряный карась и *ротан-головешка* (*ил. 163, 2*), моллюск рапана и др. Не имея врагов и будучи чрезвычайно плодовитыми, они быстро создают многочисленные популяции. Почему экосистемы под их влиянием изменяются? Сделайте вывод о целостности и саморегуляции экосистемы.







Ил. 163. Примеры видов-агрессоров:
1 – борщевик Сосновского;
2 – ротан-головешка



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое стабильность экосистем? 2. Назовите виды экосистем по устойчивости. 3. Что такое экологическая сукцессия? 4. Каковы причины сукцессий? 5. Что такое искусственные экосистемы? 6. Приведите примеры искусственных экосистем. |
| 7 – 9 | 7. Как обеспечивается стабильность экосистем? 8. Каковы значение и этапы экосукцессий? 9. Какие особенности искусственных экосистем? |
| 10 – 12 | 10. Примените знания и на конкретных примерах сравните природные и искусственные экосистемы. |

*Биосфера – это и жители, и дом, и мы в нём.*
*Н. Васоевич*

# § 59. БИОСФЕРА КАК ЦЕЛОСТНАЯ СИСТЕМА

**Основные понятия и ключевые термины: БИОСФЕРА. Живое вещество. Биологический круговорот веществ и превращение энергии.**

**Вспомните!** Что такое геологические оболочки Земли?

## Знакомьтесь!



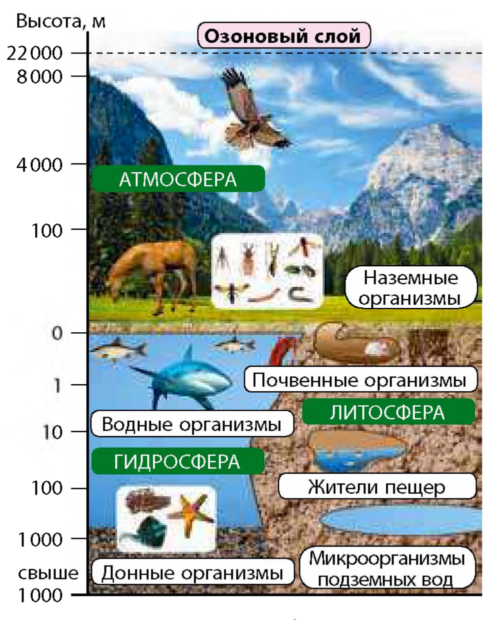
***Владимир Иванович Вернадский*** (1863–1945) – гениальный украинский учёный, основатель биогеохимии, создатель учения о биосфере. Он писал: «На земной поверхности нет химической силы, мощнее по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом». Как вы думаете, почему?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Каковы особенности биосферы?

**БИОСФЕРА** – особая оболочка Земли, населённая живыми существами (*ил. 164*). Первые представления о биосфере как о «зоне жизни» дал Ж. Б. Ламарк, термин предложил австрийский учёный ***Э. Зюсс*** (1875), а целостное учение о биосфере создал наш выдающийся соотечественник В. И. Вернадский («Биосфера», 1926). Исследованиями биосферы занимается ***биосферология***.




Ил. 164. Биосфера

Каковы же особенности биосферы как биологической системы высокого уровня организации живой материи?

1. Биосфера охватывает три геологические оболочки – литосферу, атмосферу и гидросферу. Пределы биосферы: нижние слои атмосферы до высоты около 11 км, вся гидросфера и верхний слой литосферы до глубины 3–11 км.

2. В структуре биосферы выделяют абиотический и биотический компоненты, связанные перемещением элементов. Живые организмы концентрируют, перераспределяют химические элементы, синтезируют из них и разлагают химические соединения. В науке эта закономерность называется законом Вернадского, или **законом биогенной миграции химических элементов:** ***миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется или при непосредственном участии живого***

***вещества, или же в среде, особенности которой обусловлены живым веществом.***

3. Структурными элементами биосферы являются 7 типов вещества: 1) *живое* (совокупность всех организмов на Земле); 2) *биогенное* (вещество, образованное и перерабатываемое организмами: уголь, нефть, кислород атмосферы и т. д.); 3) *косное* (абиотическое вещество, образованное без участия живого, – лава, пепел вулканов); 4) *биокосное* (биогенно-абиотическое вещество, продукты разложения и переработки косного вещества организмами – почва); 5) *радиоактивное*; 6) *космическое*; 7) *рассеянные атомы*.

4. Элементарными единицами биосферы являются экосистемы во всём своём разнообразии, объединённые биологическим круговоротом веществ и преобразованием энергии. Поэтому биосферу рассматривают как единую глобальную сложную экосистему планеты Земля.

5. Биосфера существует с момента появления жизни на Земле и на современном этапе своего развития постепенно переходит в ***ноосферу*** – *состояние биосферы, при котором определяющими факторами становятся умственная деятельность и труд человека.*

Итак, биосфера является наивысшей и сложнейшей биологической системой Земли.

## Какие функции живого вещества обусловливают их значение?

**Живое вещество (биота)** – *вся совокупность живых организмов на планете*. На его долю приходится всего 0,01% от массы всей биосферы (97 % – растения и 3 % – животные и другие организмы), однако именно с ним связаны важнейшие процессы, происходящие во всех оболочках Земли. «*Можно без преувеличения утверждать, что состояние планеты, биосферы целиком находится под влиянием жизни и определяется живыми организмами*», – писал В. И. Вернадский. Каковы же функции живого вещества?

- ***Газовая*** – влияние живых организмов на газовый состав атмосферы (например, образование кислорода при фотосинтезе, выделении углекислого газа при дыхании.
- ***Концентрационная*** – поглощение живыми организмами определённых химических элементов и их накопление (например, накопление моллюсками в раковинах кальция, диатомовыми водорослями, хвощами, злаками – соединений кремния, морскими водорослями – йода).
- ***Окислительно-восстановительная*** – живые организмы окисляют и восстанавливают определённые соединения (например, железо-, серобактерии превращают соединения железа и серы).
- ***Биохимическая*** – синтез и расщепление белков, липидов, углеводов, нуклеиновых кислот, которых в природе до появления живого не было.

Живое вещество на Земле распределено неравномерно. Наибольшее скопление организмов наблюдается на границе трёх оболочек: атмо-, гидро- и литосферы (в тропических лесах и тропической литорали). На суше разнообразие жизни выше, чем в воде из-за разнообразных усло-

вий среды обитания и большей эффективности использования солнечной энергии на суше, что составляет 0,1 %. В Мировом океане жизнь имеет бóльшую биомассу, но разнообразие его меньше из-за стабильности условий водной среды и меньшего КПД использования солнечной энергии в Океане (0,04 %).

Следовательно, именно живое вещество охватывает и перестраивает процессы в биосфере и является самой мощной геологической силой, которая растёт с течением времени.

**Как происходит биологический круговорот энергии в биосфере?**

**Биологический круговорот веществ** – *это перемещение, распределение и концентрация химических элементов и веществ в биосфере, происходящие с помощью живых организмов*. Биологический круговорот веществ в природе, в отличие от геологического, является быстрым и разомкнутым (часть элементов откладывается в виде пород органического происхождения). При участии микроорганизмов, растений, животных, грибов и человека круговорот веществ осуществляется через воздух (≈ 98%) и через воду (≈ 2%). В общем *биологический круговорот веществ в биосфере, как и в экосистемах, имеет циклический характер*.




Ил. 165. Круговорот $CO_2$ в биосфере

Ныне наблюдаются нарушения круговорота веществ в биосфере, баланса между биологическим и геологическим круговоротами, главными причинами которых являются искусственное ускорение выветривания пород и ускоренные темпы гибели биоты, а также создание человеком веществ, которые в дальнейшем не могут быть использованы организмами. Среди важнейших циклов выделим круговорот $H_2O$, $CO_2$, кислорода, азота и фосфора (*ил. 165*).

**Биологическое преобразование энергии** – *это преобразование солнечной энергии в биосфере, происходящие с помощью живых организмов*. Биосфера большую часть энергии получает в виде лучистой энергии Солнца, и незначительная доля является тепловой энергией процессов в земной коре. Лишь 0,1% солнечной энергии, попадающей на Землю, улавливается продуцентами, используется в процессе фотосинтеза и запасается в виде химической энергии углеводов. Эта связанная энергия далее используется консументами и редуцентами в цепях питания, и за её счет живое вещество выполняет внутреннюю работу – концентрирует, трансформирует, аккумулирует и перераспределяет химические элементы в земной коре. В процессе этих преобразований часть энергии теряется в виде тепла, поэтому *преобразование энергии в биосфере имеет линейный характер*.

Итак, биосфера – это биологическая система, поглощающая энергию космоса и направляющая её на внутреннюю работу, которая обеспечивает существование и развитие природы Земли.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Приведите примеры организмов, участвующих в преобразовании оболочек Земли и докажите планетарную роль живого вещества.

| Значение живого вещества | Примеры организмов |
|---|---|
| Образование осадочных пород | |
| Образование полезных ископаемых | |
| Разрушение горных пород | |
| Образование почвы | |
| Образование кислорода и озона | |
| Влияние на концентрацию азота | |
| Влияние на концентрацию $CO_2$ | |
| Заболачивание | |

### Биология + Химия

Азот входит в состав аминокислот, белков, нуклеиновых кислот, АТФ и других соединений и вместе с тем является наиболее лимитирующим из всех биогенных элементов. Рассмотрите иллюстрацию, определите суть процессов, составляющих основу круговорота азота в биосфере. Подготовьте презентацию «Круговорот азота в биосфере и его особенности». Каковы химические свойства азота?






## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Наука



В. И. Вернадский очень много сделал для возрождения Украины. Он был первым президентом Академии наук, его именем назвали Национальную библиотеку Украины. По мнению учёного, неизбежным, единственно правильным является подход к биосфере как к целостной глобальной экосистеме, единому живому организму. Такое понимание биосферы особенно важно теперь, когда влияние человека на природу достигло небывалых и угрожающих масштабов. Сделайте вывод о значении природных группировок для сохранения равновесия в биосфере и развития ноосферы.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое биосфера? 2. Кто является автором учения о биосфере? 3. Что такое живое вещество? 4. Назовите функции живого вещества. 5. Что такое биологический круговорот? 6. Каков характер преобразований энергии в биосфере? |
| 7 – 9 | 7. Каковы особенности биосферы? 8. Каково значение живого вещества? 9. Как происходят биологический круговорот веществ и превращение энергии в биосфере? |
| 10 – 12 | 10. В чём суть планетарной роли живого вещества? |

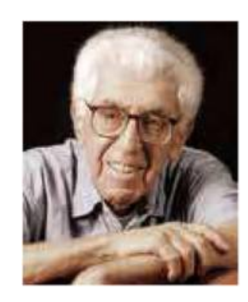
*Биосфера и человек, а не человек и биосфера.*
Н. Тимофеев-Ресовский

# § 60. БИОСФЕРА И ЕЁ СОХРАНЕНИЕ

**Основные понятия и ключевые термины: Экологические проблемы. Экологические катастрофы. Экологический кризис.**

**Вспомните!** Что такое биосфера?

### Из собственного опыта



Большинство экологических закономерностей удачно обобщил в 1974 г. американский эколог Б. Коммонер (1917–2012). *«Если мы хотим выжить, то должны понять причины приближающейся катастрофы»*, – говорил учёный. Законы экологии он сформулировал в виде четырёх афоризмов: 1) всё связано со всем; 2) всё должно куда-то деваться; 3) природа «знает» лучше; 4) ничто не даётся даром. Приведите примеры из повседневной жизни, иллюстрирующие каждый из законов Б. Коммонера.



### СОДЕРЖАНИЕ

### Как влияет человек на современную биосферу?

На протяжении всей своей истории человечество постепенно усиливало влияние на природу, всё больше нарушая экологическое равновесие и создавая экологические проблемы.

**Экологические проблемы** – *это такие изменения состояния окружающей среды, которые могут ухудшить (прямо или косвенно) природные условия*. Они могут иметь статус местных или региональных экологических проблем, но некоторые оказывают влияние на всю биосферу Земли и угрожают человечеству. В настоящее время учёные-экологи выделяют такие важнейшие глобальные проблемы, как: 1) ***загрязнение среды*** (отходами производства, нефтепродуктами, ядохимикатами, минеральными удобрениями, синтетическими материалами и т. п.); 2) ***потепление климата***; 3) ***кислотные осадки***; 4) ***разрушение озонового слоя***; 5) ***опустынивание территорий***; 6) ***уменьшение биоразнообразия***.

Сигналами неблагополучия биосферы и неразумной хозяйственной деятельности человека сегодня всё чаще становятся экологические катастрофы. **Экологические катастрофы** – *быстрые и опасные изменения природных условий, при которых состояние окружающей среды скачкообразно изменяется в неблагоприятную сторону*. Печальными примерами таких событий были Бхопальськая авария на химическом заводе в Индии (1984), Чернобыльская авария в Украине (1986), авария на атомной электростанции «Фукусима-1» в Японии (2011). К сожалению, число и частота крупных экологических катастроф в мире растут: за десятилетие с 1960 до 1970 гг. их случилось 14, а за десятилетие с 1980 по 1990 гг. зарегистрировано уже 70.

В конце XX в. человечество стало чувствовать приближение глобального экологического кризиса, который, в отличие от предыдущих

кризисов, охватил всю планету и обусловлен техногенными причинами. **Экологический кризис** – *глубокое нарушение естественного экологического равновесия и напряжённое состояние взаимоотношений между человеком и природой*. К развитию глобального современного экологического кризиса привели два фактора – ***демографический*** и ***промышленно-энергетический***. Численность населения Земли растёт (1830 г. – 1 млрд, 1994 г. – 5,5 млрд, а к 1 апреля 2017 г. достигла 7,5 млрд), резко увеличивается рост промышленного производства, производства энергии. Но есть и другие серьёзные причины углубления экологического кризиса: упадок духовности, низкий уровень экологической культуры и экологического образования.

Человек должен понять свои ошибки в отношениях с окружающей средой и направить силы на смену отношения к природе и устранение причинённого вреда. Иначе экологический кризис перерастёт в необратимую экологическую катастрофу на Земле.

Итак, антропогенное воздействие на биосферу настолько усилилось, что повлекло за собой глобальный экологический кризис.

**Каковы основные направления охраны биосферы?**

Человек и биосфера неотделимы друг от друга. Биосфера обеспечивает человека необходимыми для жизни веществами и энергией. Человек заботится о биосфере: проявляет заботу об её жителях, охраняет среду их обитания. Сегодня вопросы охраны биосферы волнуют всех людей на Земле, поскольку каждый из нас ощущает последствия антропогенной деградации природы.

Одним из направлений охраны биосферы является ***сохранение биоразнообразия***. Учёные обнаруживают виды и группировки организмов, которым угрожает опасность, выясняют, сколько их осталось в природе и где, разрабатывают меры по охране окружающей среды. Перечень видов организмов, которые нуждаются в охране, приводят в Красных книгах. Первую Международную Красную книгу издали в 1966 г. В Украине в 2009 г. вышло уже третье издание **Красной книги Украины**, в которую занесены 542 вида животных, 826 видов растений и грибов. Для охраны группировок украинские ботаники первыми в мире предложили создать Зелёные книги. В 1987 г. появилась **Зеленая книга Украины**, в которую были занесены 127 редких и исчезающих группировок. Больше всего среди них лесных (например, еловые леса Полесья), водных (например, формация кувшинки белой) и степных (например, формации ковыля украинского) ценозов (*ил. 166*).



Ил. 166. Лесные группировки сосновых желторододендроновых лесов из Зелёной книги Украины

Важный шаг на пути защиты и сохранения биосферы – ***выделение и развитие природно-заповедных территорий***. Это создание заповедников, заказников, национальных парков, памятников природы, дендропарков, зоопарков, ботанических садов и др. (*ил. 167*). Природно-заповедными территориями международного значения, в которых охраняются все слои

биосферы, являются биосферные заповедники. В Украине действуют «Аскания-Нова» (*ил. 168*), Черноморский, Карпатский, Дунайский и Чернобыльский радиационно-экологический. В Украине в 2004 г. принят Закон «О создании экологической сети Украины», согласно которому была начата работа по созданию единой территории с участками заповедной и малоизменённой природы, называемой ***экологической сетью***. Программой планируется создание 29 национальных природных парков и 7 биосферных заповедников, среди которых крупнейшими будут Сивашский, Большое филлофорное поле Зернова, Нижнеднепровский, Полесский, Украинский лесостепной. Площадь 11 существующих заповедников и парков будет увеличена.



Ил. 167. Национальный парк «Синевир» в Карпатах



Ил. 168. Биосферный заповедник «Аскания-Нова» в Херсонской области

Какова же роль заповедных территорий в сохранении биологического разнообразия? Это прежде всего: 1) сохранение генофонда растительного и животного мира; 2) обеспечение общего экологического равновесия и восстановление биологического круговорота веществ в природной среде; 3) проведение научных исследований, осуществление экологического мониторинга, прогнозирование изменений окружающей среды и разработка научных рекомендаций по охране биосферы; 4) сохранение типичных и уникальных природных комплексов, биоразнообразия ландшафтов и «неживой природы».

***Экологическое образование*** в области окружающей среды рассматривается ныне педагогической общественностью как непрерывный процесс, охватывающий все возрастные, социальные и профессиональные группы населения. Однако её центральным звеном является школа, так как именно в школьные годы формирование личности происходит наиболее интенсивно.

Учёные непрерывно ищут *новые пути сохранения* биосферы. В последние десятилетия развиваются такие направления, как длительное сохранение генетической информации в форме криобанков – глубоко замороженных клеток, формирование семенных банков, возвращение видов к местам их предыдущего проживания и др.

Итак, основными направлениями охраны биосферы являются сохранение биоразнообразия, выделение и развитие природно-заповедных территорий, экологическое образование и др.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Классифицируйте и запишите в таблицу приведённые загрязнители: 1) ВИЧ; 2) угарный газ от неполного сгорания; 3) электромагнит-

ные поля высоковольтных линий электропередачи; 4) искусственные изотопы цезия, стронция; 5) тёплые воды электростанций; 6) шум транспорта; 7) оксиды азота ТЭС, ТЭЦ, металлургических заводов; 8) кадмий в золе от сжигания мусора на свалках; 9) пестициды; 10) стекло, полиэтиленовые пакеты, пластмассовые бутылки; 11) сточные воды сахарного завода, мясокомбината; 12) соединения хлора – выбросы цементного завода. Оцените антропическое влияние на природные экосистемы своей местности.

| Химические | Биологические | Физические | Механические | Термические | Радиационные |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

**Биология + Практика**

Помощь окружающей среде, или «зелёная жизнь», – это очень просто. Если каждый из нас уделит хоть немного внимания этому вопросу, то изменения будут значительными. Обоснуйте десять предложенных советов о помощи по спасению жизни на Земле.

| Совет | Обоснование |
|---|---|
| 1. Сортируй мусор | |
| 2. Старайся не использовать полиэтиленовые пакеты | |
| 3. Покупай экоодежду из хлопка, льна, шёлка и т. д. | |
| 4. Используй энергосберегающие лампы | |
| 5. Выращивай комнатные растения | |
| 6. Используй спички вместо зажигалок | |
| 7. Отдавай вещи на переработку | |
| 8. Сдавай макулатуру | |
| 9. Экономь воду | |
| 10. Ходи пешком | |



## ОТНОШЕНИЕ

**Проект на тему:**

**«ВЫЯВЛЕНИЕ УРОВНЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ЭКОСИСТЕМАХ»**

Влияние человека как экологического фактора чрезвычайно сильно и разносторонне. Ни одна экосистема на планете не избежала этого воздействия. Подготовьте проект, в котором определите позитивное и негативное влияние человека на экосистемы вашей местности.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое экологический кризис? 2. Что такое экологические проблемы? 3. Назовите четыре глобальные экологические проблемы биосферы. 4. Что такое Красная книга? 5. Что такое Зелёная книга? 6. Назовите категории заповедных территорий. |
| 7 – 9 | 7. Каково влияние человека на современную биосферу? 8. Каковы основные направления охраны биосферы? 9. Какова роль заповедных территорий в сохранении биоразнообразия, равновесия в биосфере? |
| 10 – 12 | 10. Примените знания для определения правил своего поведения в современных условиях окружающей среды. |

# Обобщение темы 8. СВЕРХОРГАНИЗМЕННЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

**Надорганизменные биологические системы** – *это группировки живых организмов, взаимосвязанные между собой и с окружающей средой*. Это популяции, виды, экосистемы и биосфера.

**Таблица 17. СВЕРХОРГАНИЗМЕННЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

| Название | Экологическая характеристика системы |
|---|---|
| ***Популяция*** *– совокупность особей вида, длительное время проживающих в определённой части ареала частично или полностью изолированно от других популяций* | Основными показателями, характеризующими популяции, являются: *численность, плотность, биомасса, рождаемость, смертность* и *прирост*. Популяциям присущи *половая, возрастная, пространственная, видовая, этологическая структуры* |
| ***Вид*** *– совокупность особей, характеризующихся наследственным сходством признаков; они свободно скрещиваются и дают плодовитое потомство, приспособлены к определённым условиям жизни и занимают в природе определённый ареал* | Каждый вид, распространённый в определённом ***ареале***, занимает в биогеоценозе определённую ***экологическую нишу***, заселяет определённую часть пространства, которая называется ***местообитанием вида,*** и может существовать только благодаря связям с другими видами |
| ***Экосистема*** *– совокупность организмов разных видов и среды их обитания, связанных обменом веществ, энергии и информации* | В любой экосистеме выделяют две части – абиотическую и биотическую. Необходимыми условиями существования являются ***круговорот веществ*** и ***превращение энергии***. Основными свойствами являются *открытость, саморегуляция, целостность, замкнутость, устойчивость* |
| ***Биосфера*** *– особая оболочка Земли, населённая живыми организмами* | Элементарной единицей являются ***экосистемы***, основным условием существования биосферы – ***биологический круговорот веществ***, существует с момента появления жизни на Земле, постепенно переходит в ***ноосферу***. |
| *Надорганизменные системы изучает наука ЭКОЛОГИЯ, в которой выделяют три основных направления: экологию особей, популяционную экологию и биогеоценологию* | |

## ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

**Закон пирамиды энергий, правило экологической пирамиды, закон 10 %** (закон Р. Линдемана, 1942). *С одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на другой её уровень в среднем не более 10 % энергии.*

**Закон минимума** (закон лимитирующего фактора, закон Ю. Либиха, 1840). *Наибольшее лимитирующее действие на организм, популяцию или группировки оказывают те жизненно важные факторы внешней среды, количество (концентрация) которых близка к минимальному критическому уровню.*

**Закон биогенной миграции атомов** (В. И. Вернадский). *Миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или происходит в среде, геохимические свойства которой обусловлены живым веществом.*

## Самоконтроль знаний

### Тест-оценивание 8. СВЕРХОРГАНИЗМЕННЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

**1.** Под действием какого из факторов чаще всего уменьшается урожай культурных растений в южных областях Украины, где преобладают наиболее плодородные почвы?

**А** температура  **Б** свет
**В** кислород  **Г** элементы питания

**2.** Уменьшение размеров тела, тонкие покровы тела, вертикальные миграции, слабая пигментация тела, гетеротрофный тип питания характерны для жителей среды…

**А** наземно-воздушной  **Б** водной
**В** почвенной  **Г** гостальной

**3.** Группа свободно скрещивающихся особей одного вида, проживающих длительное время на территории ареала и относительно изолированных от других таких же групп.

**А** популяция  **Б** экотип  **В** подвид  **Г** вид

**4.** Структура популяции, проявляющаяся особенностями поведения.

**А** половая  **Б** возрастная  **В** пространственная  **Г** этологическая

**5.** Совокупность особей, которые имеют наследственное сходство признаков, свободно скрещиваются и дают плодовитое потомство, приспособлены к определённым условиям жизни и занимают в природе ареал.

**А** популяция  **Б** экотип  **В** подвид  **Г** вид

**6.** Наибольшее количество ярусов растений имеется в такой экосистеме, как

**А** еловый лес  **Б** сосновый лес  **В** широколиственный лес  **Г** городской парк

**7.** Консументами I порядка являются

**А** ёж, ласка  **Б** муравей, бабка  **В** заяц, пчела  **Г** паук, комар

**8.** Грибы-сапротрофы являются

**А** консументами I порядка  **Б** консументами II порядка
**В** редуцентами  **Г** продуцентами

**9.** Цепи питания обычно состоят из 5-6 звеньев, поскольку

**А** ресурсы среды ограничены
**Б** хищники не могут питаться хищниками
**В** в цепях питания происходят потери энергии
**Г** редуценты не управляются с функциями

**10.** Биомасса каждого из следующих уровней уменьшается примерно в 10 раз потому, что часть энергии ...

**А** расходуется на образование новых растительных тканей
**Б** расходуется на жизнь и рассеивается в виде теплоты
**В** выделяется из организмов вместе с продуктами обмена
**Г** расходуется на размножение

**11.** Появление и развитие растительных сообществ в местообитаниях, где растительности раньше не было, – это

**А** первичные сукцессии  **Б** регрессирующие сукцессии
**В** вторичные сукцессии  **Г** антропогенные сукцессии

**12.** Что характерно для искусственных экосистем?

**А** разный видовой состав  **Б** саморегуляция
**В** однотипность видового состава  **Г** высокая производительность многих видов

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | |

# Тема 9. БИОЛОГИЯ КАК ОСНОВА БИОТЕХНОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ

*...Ты всегда в ответе за тех, кого приручил.*
*А. де Сент-Экзюпери*

## § 61. ПОНЯТИЕ О СЕЛЕКЦИИ

**Основные понятия и ключевые термины: СЕЛЕКЦИЯ. Одомашнивание животных. Культурные растения. Центры происхождения культурных растений.**

**Вспомните!** Что такое эволюция?

**Подумайте!**

Для одомашнивания необходимо, чтобы помещённое в неволю животное принесло потомство. Только тогда можно заняться отбором и, сохраняя особи с ценными для человека свойствами, через много веков получить уже не просто приручённое, а настоящее домашнее животное. Какая наука занимается изучением возможностей одомашнивания животных и введением в культуру растений?





### СОДЕРЖАНИЕ

**Почему селекция является наукой?**

СЕЛЕКЦИЯ (от лат. *selectio* – отбор) – *наука о создании новых и улучшении уже существующих сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов*. Научные основы селекции заложены Ч. Дарвином в работах «Происхождение видов» (1859) и «Изменение домашних животных и культурных растений» (1868), в которых обоснованы основы селекционного создания новых форм. Важным этапом дальнейшего развития селекции стало открытие законов наследственности и изменчивости. Большой вклад в развитие селекции сделал Н. Вавилов, автор закона гомологических рядов и учения о центрах происхождения культурных растений. Важную роль в становлении селекции сыграли украинские селекционеры Л. Симиренко, В. Мичурин, В. Ремесло, М. Иванов, Н. Гришко и др.

Почему селекция является наукой? *Предмет селекции* – изучение закономерностей формирования сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов в созданных человеком условиях. Селекция подчинена тем же законам, что и эволюция видов в природе, однако естественный отбор частично заменён искусственным. *Теоретическая база* селекции – генетика, эволюционное учение и экология.

К основным *методам селекции* относятся отбор, гибридизация, методы полиплоидизации и экспериментального мутагенеза. Интеграция селекции с молекулярной биологией, цитологией, криобиологией, биохимией открыли новые перспективы развития. Всё шире используются возможности и методы биотехнологии, молекулярной биологии, генетической инженерии, значительно ускоряющих селекционный процесс.

Основные разделы современной селекции – селекция растений, селекция животных и селекция микроорганизмов. Их выделяют по особенностям строения и жизнедеятельности организмов, участвующих в селекционной работе.

Достижения селекции применяются в растениеводстве для выращивания культурных растений, в животноводстве – для содержания домашних животных, в быту – для эстетического наслаждения, положительных эмоций от домашних животных и декоративных растений, в медицине – для получения лекарств, в биотехнологии – для использования в пищевой, легкой, микробиологической, деревообрабатывающей промышленности и др.

Итак, селекция – это наука, имеющая свои предмет, объекты и методы исследований, связи с другими науками и практическое значение.

### Каково значение одомашнивания животных и введения в культуру растений?

**Одомашнивание**, или **доместикация** (от лат. *domesticus* – домашний), – *селекционный процесс изменения животных для использования человеком*. Большинство видов животных, свободно живущих в природе, нельзя одомашнить – помехой становятся их наследственные этологические особенности. Некоторые дикие животные содержатся в неволе как домашние (например, во дворцах индийских королей, при дворе Карла Великого жили гепарды, которых использовали на охоте), однако они всего лишь приручённые, а не одомашненные. Такие животные легко возвращаются к жизни в дикой среде.

Процесс одомашнивания диких животных начинается с отбора отдельных особей для получения потомства с определёнными признаками, заинтересовавшими человека. В процессе селекции у организмов изменяются генетические свойства и возникают так называемые *доместикационные признаки* (например, форма ушей, длинная или короткая шерсть). Домашних животных выводят для получения пищи, сырья, лекарств, для эстетического наслаждения и т. п. Чаще всего домашними становились виды птиц и млекопитающих, хотя есть домашние животные и среди беспозвоночных. Это тутовый шелкопряд и медоносная пчела. С перспективой одомашнивания селекционеры проводят исследования с лосями, антилопами, оленями, яками, соболями, норками, лисами и др.

**Культурные растения** – *растения, выращиваемые человеком для получения пищевых продуктов, кормов, лекарств, сырья*. Все культурные растения произошли от дикорастущих видов, которые в большинстве своём сохранились до нашего времени. Некоторые предковые виды уже не встречаются в природе, например дикая кукуруза. За вре-



Ил. 169. Популярные в Украине сорта яблони домашней (*Malus domestica*):
1 – Голден Делишес; 2 – Чемпион; 3 – Ренет Симиренко; 4 – Флорина

мя существования человечества в культуру введено около 3 тыс. культурных растений, среди которых зерновые, плодово-ягодные, сахарные, масличные, овощные, лекарственные, декоративные, и другие растения. Кроме того, введено в культуру около десятка видов водорослей (например, аквакультуры ламинарий, порфиры, филлофоры, хлореллы). Выращиванием и разведением культурных растений занимается растениеводство. Использование различных методов селекции позволило селекционерам создавать сорта культурных растений с повышенной урожайностью, устойчивостью к заболеваниям и т. д. (*ил. 169*).

Итак, благодаря селекции происходят одомашнивание животных и введение в культуру растений.

**Какое значение имеет учение о происхождении культурных растений и одомашнивании животных?**

**Центры происхождения культурных растений** – *географические центры генетического разнообразия культурных растений*. Исследования, связанные с происхождением культурных растений, осуществлял выдающийся учёный Н. И. Вавилов. В работе «Учение о происхождении культурных растений после Дарвина» (1939) он определил 7 основных географических центров происхождения культурных растений, которые непосредственно связаны с ячейками древних цивилизаций. Это: 1) ***Южноазиатский*** (33 %) (огурец, лимон, кокос, чёрный перец, чай, апельсин); 2) ***Восточноазиатский*** (20 %) (рис, просо, яблоня, груша, персик, соя, грецкий орех, хурма); 3) ***Юго-Западноазиатский*** (4 %) (мягкие пшеницы, ячмень, рожь, финик, горох, дыня); 4) ***Средиземноморский*** (11 %) (капуста, свёкла, морковь, масло, виноград); 5) ***Абиссинский*** (4 %) (твердая пшеница, кофе, хлопок, кунжут); 6) ***Центральноамериканский*** (10 %) (кукуруза, фасоль, подсолнечник, тыква, какао); 7) ***Андийский*** (8 %) (картофель, помидор, хинное дерево, ананас, арахис).

Учение о центрах происхождения и разнообразия культурных растений позволило установить географические ячейки генетического разнообразия культурных растений.

Вопрос о центрах происхождения домашних животных изучен значительно слабее по сравнению с культурными растениями, потому что диких предков многих животных человек истребил. Исследователи предполагают, что страны Ближнего Востока и побережья Средиземного моря были родиной крупного рогатого скота, коз, овец, свиней, собак, ослов, степные районы Азии и Европы – лошадей, Египет – кошек, Индия – кур, Северная Америка – индюков и др.

Итак, центры происхождения растений и животных дают учёным информацию об исходном разнообразии растений и животных, что является одним из условий успешного создания сортов и пород.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на развитие поисковых умений

Определите географическое расположение центров происхождения и выберите примеры культурных растений, происходящих из названных центров. Заполните в рабочей тетради таблицу.

**ЦЕНТРЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ**

| Название | Географическое расположение | Родина культурных растений |
|---|---|---|
| 1. Южноазиатский | | |
| 2. Восточноазиатский | | |
| 3. Юго-Западноазиатский | | |
| 4. Средиземноморский | | |
| 5. Абиссинский | | |
| 6. Центральноамериканский | | |
| 7. Андийский | | |

### Биология + Практика

Селекционеры создали самые разнообразные сорта помидоров, отличающиеся окраской, размерами плодов, сроками созревания и др. Есть среди них и сорта, предназначенные для промышленного выращивания. Они равномерно созревают, что упрощает и сбор урожая, но у таких сортов худшие вкусовые качества плодов. На этом конкретном примере оцените преимущества и недостатки современной селекции.



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Культура

Культ коня существовал у украинцев. В частности, всадниками были языческий бог грома и молнии Перун и христианский святой Юрий-Георгий. В легенде о вещем Олеге написано, что конь как священное существо мог принести и успех, и смерть. Во многих казачьих песнях, думах, преданиях конь является братом и боевым товарищем казака. А какова история одомашнивания этого животного (или другого на выбор учащегося)?





## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое селекция? 2. Назовите методы селекции. 3. Приведите пример домашних животных и культурных растений. 4. Что такое одомашнивание и культурные растения? 5. Что такое центры происхождения культурных растений? 4. Назовите основные центры происхождения культурных растений. |
| 7 – 9 | 7. Почему селекция является наукой? 8. Каково значение одомашнивания животных и введения в культуру растений? 9. Какое значение имеет учение о происхождении культурных растений и одомашнивании животных? |
| 10 – 12 | 10. Оцените преимущества и недостатки современной селекции. |

*Селекция – это эволюция, направляемая волей человека.*
*Н. Вавилов*

# § 62. МЕТОДЫ СЕЛЕКЦИИ

**Основные понятия и ключевые термины: Отбор. Гибридизация. Исходный материал селекции.**

**Вспомните!** Что такое селекция?

### Вступительное упражнение

В наше время существует около 400 пород собак, которые совсем не похожи друг на друга, но всё это породы одного вида. Сопоставьте названия служебных пород пса с иллюстрациями: А – доберман-пинчер; Б – боксёр; В – ротвейлер; Г – мастиф; Д – ризеншнауцер; Е – сенбернар. Что такое породы? Какими методами вывели эти породы?






### СОДЕРЖАНИЕ

### Чем отличаются породы, сорта и штаммы от диких видов?

Объектами и конечным результатом селекционного процесса являются породы, сорта и штаммы как искусственно созданные человеком популяции организмов. **Порода животных** – *это совокупность особей определённого вида животных, имеющая наследственные особенности*. В породе должно быть достаточное количество животных, иначе ограничивается возможность применения отбора, что быстро приводит к вырождению породы. Животных, подобных по особенностям, живой массе, производительности, плодовитости и другим признакам, принято объединять в определённые группы (классы). Так, все породы собак сегодня делятся на служебные, охотничьи, спортивные и декоративные (*ил. 170*).



Ил. 170. Ганноверский конь – спортивная порода

**Сорт растений** – *совокупность растений определённого вида, которые отличаются наследственными особенностями*. Каждый сорт растений имеет уникальное наименование и сохраняет свои свойства при многократном выращивании (*ил. 171*).



Ил. 171. Сорт томатов Де-барао золотой

**Штаммы микроорганизмов** – *чистая культура определённого вида микроорганизмов, в которой изучены морфологические и физиологические особенности*. Штаммы выделяют из различных источников

(почвы, воды, пищи). Один и тот же вид бактерий, дрожжей, микроскопических грибов может иметь большое число штаммов, отличающихся по свойствам, например по чувствительности к антибиотикам.

Чем породы, сорта и штамма отличаются от диких видов? У искусственно созданных человеком форм значительно большее разнообразие признаков, чем у их диких родственников. Так, у домашних животных или культурных растений сохраняются почти все проявления рядов изменчивости признаков, у них уменьшены или увеличены размеры тела, уменьшена или увеличена производительность или урожайность. Селекционный процесс делает возможным существование организмов с крайними вариантами нормы реакции (например, с удлинёнными или короткими ногами), с рецессивными проявлениями признаков, не способствующими нормальной жизнедеятельности (например, отсутствие шерсти у кошек породы сфинксы). Это объясняется тем, что селекционеры целенаправленно осуществляют отбор тех признаков, которые являются интересными для человека, а для созданных организмов они бесполезны или даже вредны.

Итак, порода животных, сорт растений и штаммы микроорганизмов являются группами организмов, искусственно созданными человеком.

### В чём суть основных методов селекции?

**Отбор** – *процесс создания пород, сортов, штаммов путём систематического сохранения особей с определёнными, ценными для человека, признаками*. В селекции применяют ещё массовый и индивидуальный отбор. Массовый отбор осуществляется по фенотипу и обеспечивает выбор особей по внешним признакам. Если отбор сводится к выделению особей и проверке их генотипов по анализу потомков, то это индивидуальный отбор.

**Гибридизация** – *процесс получения потомков вследствие сочетания генетического материала разных клеток или организмов*. Скрещивание возможно как в пределах одного вида (внутривидовая родственная и неродственная гибридизация), так и между особями разных видов (межвидовая гибридизация).

***Родственная гибридизация*** (*инбридинг*) – *внутривидовое скрещивание близкородственных форм, способствующее повышению гомозиготности потомков*. При этой форме скрещивания следует учитывать негативные последствия: частое подавление жизнедеятельности вследствие перехода большинства генов в гомозиготное состояние. ***Неродственная гибридизация*** (*аутбридинг*) – *внутривидовое скрещивание линий, сортов, пород, обычно способствующее повышению гетерозиготности потомков*. Один из результатов неродственной гибридизации – явление гетерозиса, или «гибридной силы», при котором первое поколение гибридов обладает повышенной жизнеспособностью.

***Межвидовая*** (***отдалённая***) ***гибридизация*** – *скрещивание особей, принадлежащих к разным видам и даже родам с целью объединения у гибридов ценных комбинаций наследственных признаков*. Эта форма гибридизации часто сопровождается *бесплодием гибридов*, что обусловлено отсутствием возможности конъюгации между гомоло-

гичными хромосомами. Самыми известными примерами межвидовых гибридов являются: *тритикале* (пшенично-ржаной гибрид), *культурная слива* (алыча и тёрн), *бистер* (гибрид белуги и стерляди), *мул* (гибрид кобылы и осла), *ишак* (гибрид ослицы и лошади), *нар* (гибрид двугорбого и одногорбого верблюдов), *зубробизон* (гибрид зубров с бизонами) и др. (*ил. 172*).




Ил. 172. Межвидовые гибриды:
1 – гибрид льва и тигрицы (лигр);
2 – гибрид тигра и львицы (тайгон)

Итак, основными методами селекции являются отбор и гибридизация, направленые на отбор и скрещивание организмов с ценными для человека наследственными признаками.

**Каковы особенности и методы селекции растений и животных?**

**Селекция растений** – *раздел селекции, занимающийся созданием новых и улучшением существующих сортов культурных растений.* У многих растений при размножении образуется большое количество семян, которое даёт значительное количество различных потомков. Поэтому целесообразным и эффективным является применение ***массового отбора*** по внешним признакам. В селекции применяют все формы ***гибридизации***: родственную – для получения чистых линий, неродственных – для создания гетерозисных сортов, межвидовой – для получения удаленных гибридов (например, *йошта* – гибрид смородины и крыжовника, *логанберри* – гибрид малины и ежевики, *неши* – гибрид яблони и груши). Для растений свойственно вегетативное размножение, что позволяет сочетать признаки сортов благодаря прививке, сохранять сортовые признаки у потомков. Наличие опыления позволяет учёным использовать ***метод смеси пыльцы*** для преодоления нескрещивания растений. Большинство растений не имеют половых хромосом, что делает возможным применение ***метода полиплоидизации***, благодаря которому получают растения с увеличенным количеством хромосом, кратным гаплоидному набору. Полиплоидные растения отличаются большими размерами, высокой урожайностью и более активным обменом веществ. Полиплоидию используют также для преодоления стерильности межвидовых гибридов, что впервые доказал ещё в 1924 г. Г. Карпеченко на примере гибрида редьки (*Raphanus*) и капусты (*Brassika*). У растений естественным явлением является большая частота соматических мутаций, поэтому селекционеры используют ***метод искусственного мутагенеза***, обусловленный направленным действием мутагенов для получения индуцированных мутаций.

**Селекция животных** – *раздел селекции, занимающийся созданием новых и улучшением существующих пород домашних животных.* Основные принципы селекции животных не отличаются от принципов селекции растений. Новые породы животных получают на основе наследственной изменчивости, применяют ***отбор*** и ***гибридизацию***, на проявление признаков влияют условия среды и др. Однако есть и особенности, что обусловлено природой организма животных:

наличие только полового размножения, поздняя половая зрелость, немногочисленное потомство, наличие пола и др. Так, в связи с немногочисленными потомками применяют ***индивидуальный отбор,*** для определения наследственных качеств самцов по признакам, которые у них не проявляются (например, количество или жирность молока), применяют ***метод отбора производителей по потомкам.*** Значительно реже применяют ***метод полиплоидизации*** и ***отдалённой гибридизации***, поскольку половые хромосомы влияют на возможность конъюгации гомологичных хромосом.

Итак, особенности разделов селекции связаны с особенностями строения и жизнедеятельности групп организмов, с которыми осуществляют селекцию.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на закрепление знаний

С помощью учебника в рабочей тетради определите суть основных методов и заполните таблицу.

| Название метода | Суть |
|---|---|
| 1. Отбор | |
| 2. Гибридизация | |
| 3. Искусственный мутагенез | |
| 4. Полиплоидизация | |



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Растениеводство



Логанберри – малино-ежевичный гибрид, межвидовой гибрид малины красной и ежевики садовой. Характеризуется отсутствием шипов, большей массой ягоды, высокой урожайностью, лучшими вкусовыми качествами. Генетики считают такие гибриды очень перспективным направлением в селекции этих культур, считая, что от ежевики новые сорта наследуют высокую урожайность, неприхотливость к почве и условиям возделывания, а от малины – её зимостойкость и незначительную колкость стеблей. Оцените преимущества и недостатки использования человеком межвидовых гибридов.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое порода, сорт и штамм? 2. Приведите примеры сортов растений и пород животных. 3. Что такое отбор? 4. Что такое гибридизация? 5. Что такое селекция растений? 6. Что такое селекция животных? |
| 7 – 9 | 7. Чем отличаются породы, сорта и штаммы от диких видов? 8. Назовите основные методы селекции пород, сортов и штаммов. 9. Каковы особенности и методы селекции растений и животных? |
| 10 – 12 | 10. Докажите, что скрещивание в сочетании с подбором – наиболее эффективный путь селекционной работы. |

***Технология – от греч. биос – жизнь, технос – мастерство и логос – учение.***
*Биологический словарь*

# § 63. БИОТЕХНОЛОГИЯ

**Основные понятия и ключевые термины: БИОТЕХНОЛОГИЯ.**

**Вспомните!** Что такое генетика, молекулярная биология, микробиология?

**Подумайте!**

В мире изготавливают сотни сортов сыра, самыми известными из которых являются брынза, камамбер, рокфор, пармезан, чеддер, моцарелла и др. Их тип, консистенция и аромат зависят от молока, бактерий и плесневых грибов, обработки и т. п. Ароматизаторами могут служить травы, специи, древесный дым. Почему сыроварение является биотехнологией?





## СОДЕРЖАНИЕ

### Почему современная биотехнология является наукой?

Биотехнология возникла *как совокупность способов использования живых существ и биологических процессов для промышленного производства*. С древнейших времён человек использовал организмы для выпечки хлеба, приготовления кисломолочных продуктов, покраски одежды и др. Но только благодаря исследованиям ***Л. Пастера*** (1822–1895) биотехнология получила научную основу. Он изучал процессы брожения – основу виноделия и пивоварения, спас шелководство, обнаружив причину болезней шелкопряда, предложил метод предохранительных прививок для профилактики инфекционных заболеваний, метод пастеризации для хранения пищевых продуктов и др. В 40–50-е годы XX в., когда был осуществлен биосинтез пенициллинов, началась эра антибиотиков, давшая толчок развитию *микробиологической промышленности*. В 60–70-е гг. XX века начала развиваться клеточная инженерия. С созданием в 1972 г. группой ***П. Берга*** в США первой гибридной молекулы ДНК *in vitro* формально связано рождение *генетической инженерии*. Обострение экологических проблем стало причиной появления *экологической инженерии* (*ил. 173*).




Ил. 173. Схема основных направлений современной биотехнологии

Современная биотехнология как наука неразрывно связана, в первую очередь, с биологией, химией, физикой, техникой и инженерией. Её объектами являются

вирусы, бактерии, грибы, клетки растений, животных, человека и биомолекулы. Для исследований в биотехнологии применяют самые разнообразные методы, среди которых *метод культивирования биообъектов в биореакторах* (ферментаторах), *метод выращивания клеточных или тканевых культур* в особых условиях, методы генетической инженерии, методы микробиологического синтеза и др.

С помощью биотехнологии можно получить экологически чистую и дешёвую продукцию, и поэтому она будет вытеснять ограниченные ресурсами и экологически вредные современные химические технологии.

Итак, **БИОТЕХНОЛОГИЯ** – это комплекс наук, технических средств, методов, направленных на получение и использование клеток микроорганизмов, животных и растений, а также продуктов их жизнедеятельности в промышленности.

### Какова современная биотехнология?

Современная биотехнология широко применяется в сельском хозяйстве, пищевой промышленности, медицине, фармакологии и охране природы. По уровню организации биотехнологию можно условно классифицировать по таким отраслям:

- **нанобиотехнология** – технология наночастиц, имеющих размеры от 1 до 100 нм (например, технология адресной доставки лекарств с помощью ***липосом*** – липидных двуслойных структур, содержание которых представляет собой водный раствор вещества для лечения болезней);
- **цитотехнология** – клеточная технология (например, выращивание ***гибридом*** – клеточных гибридов В-лимфоцитов и раковых клеток меланомы для получения моноклональных антител, получение противовирусных белков-***интерферонов*** способом выращивания на искусственной среде лейкоцитов периферической крови человека, получение человеческого ***инсулина*** с помощью клеток кишечной палочки);
- **гистотехнология** – тканевая технология (например, выращивание кожи, органов для трансплантации, выращивание клеточных культур на питательных средах);
- **ембриотехнология** – зародышевая технология (например, пересадки эмбриональных стволовых клеток пуповинной крови для лечения лучевой болезни; искусственное оплодотворение; репродуктивная технология экстракорпорального оплодотворения);
- **биотехнология культивирования организмов** (например, биотехнология выращивания шампиньонов и вешенки, съедобных моллюсков на устричных фермах, клонального микроразмножения растений);
- ***биоинженерная технология*** с применением технического подхода (например, тестирование ДНК с использованием биочипов, создание искусственных суставов, кардиостимуляторов, аппаратов почечного диализа или сердечного кровообращения).

Итак, современная биотехнология демонстрирует почти неограниченные возможности использования организмов в различных областях деятельности человека.

### Каково значение биотехнологии?

Современная биотехнология имеет огромные перспективы для решения экологических проблем, ликвидации дефицита пищи и борьбы с голодом, получения сырья и энергии для промышленности, сохранения здоровья человека и др. (*ил. 174*). С помощью биотехнологии осуществляются:

- получение пищевых продуктов (например, кефира, йогурта, сухого молока, хлеба, соков);
- получение сортов растений (например, выведение сортов пшеницы привело к «зелёной революции» в Мексике, создание сортов риса с вегетационным периодом 120 дней значительно повысило уровень жизни населения Азии);
- получение лекарственных препаратов (например, вакцин, антибиотиков, витаминов, ферментов с помощью грибов и бактерий);
- диагностика наследственных болезней человека (например, технологии культивирования лимфоцитов, диагностика эмбриона на ранней стадии внутриутробного развития, создание тест-систем для генной диагностики);
- разработка безотходных технологий для очистки среды (например, использование бактерий для разложения искусственных полимерных материалов или пестицидов);
- создание технологий получения энергии (например, использование метанобактерий для получения биогаза, создание топлива из сахарного тростника или кукурузы);
- получение кормов для улучшения условий выращивания сельскохозяйственных животных (например, дрожжевые грибы синтезируют кормовые белки из парафинов нефти);
- создание средств ухода и защиты растений (например, создание бактериальных удобрений и биогумуса);
- создание животных-биореакторов, производящих вещества для лечения болезней (например, коров или коз, которые будут давать с молоком белок для лечения инсультов).



Ил. 174. Основные области применения биотехнологии

Использование биотехнологии может иметь и негативные последствия. Это вредное воздействие на природу мутагенов, потеря биосистемами способности к саморегуляции, изменение геномов организмов и генофонда популяций и др. Последствиями неконтролируемого распространения генетически изменённых объектов в окружающей среде может быть увеличение количества устойчивых к антибиотикам микроорганизмов, повышение концентрации аллергенов в природе, нарушение равновесия природных экосистем, повышение уровня вредности микроорганизмов, мутационные изменения, заболевания и др.

Итак, современная биотехнология имеет огромные перспективы и преимущества, но существует и реальная опасность негативных последствий от вмешательства человека в природные системы.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

Приведите примеры, подтверждающие значение биотехнологии в различных областях деятельности человека.

| Отрасль | Примеры |
|---|---|
| Медицина | |
| Сельское хозяйство | |
| Энергетика | |
| Фармацевтика | |
| Пищевая промышленность | |
| Охрана природы | |

### Биология + Латынь

В биологии достаточно часто используются латинские выражения, обозначающие особенности проведения исследований. Сопоставьте распространённые выражения с определением их сути и получите фамилию венгерского инженера, который в 1917 г. предложил термин *биотехнология*.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

| | |
|---|---|
| **1** *In vitro* («в стекле») | **Е** Проведение исследований в живой ткани вне организма в искусственной среде |
| **2** *In vivo* («в живом») | **К** Рассмотрение явления или объекта на месте, в естественных условиях, без переноса в среду (например, гибридизация хромосом) |
| **3** *Ex vivo* («из жизни») | **И** Рассмотрение явления или объекта до рождения (например, ультразвуковое исследование плода) |
| **4** *In situ* («на месте») | **Э** Проведение опытов вне организма (например, экстракорпоральное оплодотворение яйцеклеток вне организма) |
| **5** *In utero* («в матке») | **Р** Проведение исследований в живой ткани в живом организме (например, эксперименты на лабораторных животных) |



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Медицина



***Экстракорпоральное оплодотворение*** (от лат. *extra* – снаружи, *corpus* – тело) – репродуктивная технология, её используют в случаях бесплодия. Синонимами являются «оплодотворение *in vitro*», «искусственное оплодотворение». Авторы технологии – кембриджские исследователи Р. Эдвардс и П. Стептоу. В Украине бесплодие является серьёзной проблемой: почти каждая пятая пара – бесплодна, причем 70 % – это женское бесплодие, 20 % – мужское. Каково ваше отношение к этой и другим уже традиционным отраслям биотехнологии?



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое биотехнология? 2. Укажите основные направления современной биотехнологии. 3. Назовите основные области использования биотехнологии. 4. Назовите основные группы биотехнологии. 5. Приведите примеры веществ, которые получают с помощью биотехнологии. |
| 7 – 9 | 7. Почему современная биотехнология является наукой? 8. Какова современная биотехнология? 9. Каково значение биотехнологии? |
| 10 – 12 | 10. Какие положительные и отрицательные последствия биотехнологии? |

***В отличие от естественной гибридизации генетическая инженерия преодолевает видовые барьеры.***
*Детская энциклопедия*

# § 64. ОСНОВЫ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

**Основные понятия и ключевые термины: ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ. Генотерапия.**

**Вспомните!** Что такое селекция?

## Новости науки



Американские учёные излечили двух самцов обезьян вида ***саймири обыкновенный*** (*Saimiri sciureus*) от врождённого дальтонизма. Учёные сделали это с помощью искусственных вирусов, переместив ген человеческого белка йодопсина в клетки обезьян. Эти результаты имеют практическое значение, поскольку стало понятно, что можно осуществлять лечение дальтонизма и у человека. А какое направление науки занимается такими исследованиями?

## СОДЕРЖАНИЕ

### Чем генетическая инженерия отличается от классической селекции?

Генетическая инженерия – это очень молодое направление науки на рубеже молекулярной биологии, генетики и биотехнологии, целью которого является создание организмов с новыми комбинациями наследственных признаков. Зародилось это направление исследований в 1972 г., когда ***Пол Берг*** впервые соединил в пробирке ДНК вируса SV40 (вызывает появление опухолей у обезьян) с ДНК бактериофага лямбда (паразитирует в клетках кишечной палочки). Так была получена первая рекомбинантная ДНК (рекДНК) – молекула ДНК, сочетающая в себе генетический материал, выделенный из различных биологических источников. Это стало началом разработки биотехнологии получения рекДНК, что является основой генетической инженерии. В своём интервью на сайте Нобелевского комитета Пол Берг говорил: «*Не совсем корректно называть меня отцом генной инженерии. Мы сделали лишь первый шаг на пути к ней*». Потом были открыты ферменты, разрезающие и сшивающие цепи ДНК, методы определения последовательности нуклеотидов ДНК (метод секвенирования), методов клонирования генов и др.



Ил. 175. Американский биохимик П. Берг (1926)

В чём же преимущества генетической инженерии перед селекцией? При создании новых пород, сортов или штаммов селекция сталкивается с такими проблемами, как нескрещиваемость видов, неуправляемость извне процессами рекомбинации ДНК, непредсказуемость комбинаций признаков в потомстве и др. Селекция в своих исследова-

ниях опирается на отбор признаков и внутривидовую гибридизацию. На всё уходит много времени, используются различные мутагены для искусственного мутагенеза, и не всегда результаты соответствуют ожиданиям. Преимущество генетической инженерии – быстрое, целенаправленное и контролируемое изменение признаков с использованием генетического материала не только организмов одного вида, но и различных неродственных видов. Так, генетические структуры бактерий могут переноситься в клетки растений, а гены человека – в клетки бактерий. Методы генетической инженерии позволяют значительно ускорить селекционные процессы: срок получения новых форм организмов сократился до 3–4 лет вместо 10–12 лет, необходимых с применением методов селекции. И ещё одно преимущество: генетическая инженерия исследует процессы рекомбинации и получения новых генетических структур *вне организма*, поскольку молекулярная биология доказала, что естественные механизмы сохранения стабильности генома изменить невозможно и опасно (*ил. 176*).

Итак, **ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ** – направление науки, целью которого является создание генетических структур и организмов с новыми комбинациями наследственных признаков.

### Каковы методы генетической инженерии?

Для создания организмов с генетически изменённой наследственностью в генетической инженерии применяют специфические ферменты и методы.

Для получения генов, их соединения с векторами (плазмидами или вирусами) в генетической инженерии используют ферменты: ***ревертазы*** (ферменты, катализирующие синтез нити ДНК на матрице иРНК), ***рестриктазы*** (ферменты, разрезающие нуклеотидные последовательности в определённых местах), ***лигазы*** (ферменты, сочетающие нуклеотидные последовательности). Основными методами генетической инженерии являются: 1) ***методы получения генетического материала*** (для получения генов путём химического или матричного синтеза, выделения природных генов из геномов, создание рекДНК); 2) ***методы копирования и размножения генов*** (для размножения молекул ДНК в составе




Ил. 176. Отдельные этапы создания трансгенного сорта кукурузы

плазмид или молекул ДНК вирусов); 3) ***методы переноса и включения генетического материала в геном*** (для переноса генов с участием плазмид-векторов, вирусов-векторов или с помощью липосом).

Итак, суть современных исследований генетической инженерии заключается в том, что рекомбинации генов осуществляют *in vitro*, затем направлено переносят генетические структуры в клетки организма, далее закрепляют эти гены в ДНК и обеспечивают передачу информации.

### Какова роль генетической инженерии в биотехнологии и медицине?

Благодаря генетической инженерии особенно быстро развиваются сельскохозяйственное и медицинское направления исследований.

В сельском хозяйстве генетическая инженерия открыла перспективы создания трансгенных организмов с заранее запланированными свойствами. За последние 15 лет прошли полевые испытания около 25 000 различных трансгенных культурных растений. Для улучшения свойств культур учёные пытаются сделать их устойчивыми к засухе, заморозкам, вредителям, а также чтобы могли фиксировать азот. Развито индустрию трансгенных животных, широко используемых для научных целей как источник органов для трансплантации, как производители белков, для тестирования вакцин и др. Одним из самых перспективных направлений является «выращивание лекарств на ферме» – получение из молока трансгенных животных большого количества белков, применяемых в медицине. При участии штаммов микроорганизмов уже сегодня получают *инсулин*, *интерфероны*, *гормон роста*, *ферменты*, *витамины*, *вакцины*, *антитела* и др.

Генетическая инженерия помогает медикам бороться с болезнями. Развивается **генотерапия** – совокупность методов *лечения наследственных, онкологических некоторых вирусных заболеваний путём внесения изменений в генетический аппарат клеток пациентов с целью направленного изменения генных дефектов или предоставления клеткам новых функций*. В генотерапии выделяют такие виды, как: а) соматическая генотерапия – введение генов в соматические клетки пациента; б) внеорганизменная генотерапия – введение генов в культивируемые клетки и пересадка этих клеток пациентам.

Сейчас в мире около 400 проектов проходят клинические испытания, среди которых проекты лечения гемофилии и опухолей мозга уже находятся на завершающем этапе.

С целью предотвращения инфекционных болезней создаются ***ДНК-вакцины*** – генетические структуры, после введения в клетку обеспечивающие синтез белков, предназначенных для формирования иммунных реакций – гуморального и клеточного иммунитета.

Генетическая инженерия может привести к образованию опасных типов ДНК. Поэтому специалисты, проводящие исследования и внедряющие в жизнь достижения генетической инженерии, должны помнить о теоретическом риске того, что искусственно созданные генетические структуры могут способствовать появлению опасных организмов с непредсказуемой инфекционностью и негативным воздействием на экологию.

Итак, генетические структуры, созданные с помощью генетической инженерии, могут значительно влиять на решение проблем человечества.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

Благодаря генетической инженерии в настоящее время применяются различные вещества. Сопоставьте названия этих веществ с их определениями и получите фамилию учёного, который разработал метод определения последовательности нуклеотидов ДНК.

| | |
|---|---|
| **1** Инсулин | **$Е_2$** Вещества, формирующие специфический гуморальный иммунитет |
| **2** Цианкобаламин | **Г** Вещества, формирующие неспецифический гуморальный иммунитет |
| **3** Соматотропин | **С** Гормон поджелудочной железы, регулирующий содержание глюкозы в крови |
| **4** Интерфероны | **Н** Гормон гипофиза, который влияет на рост организма |
| **5** Антитела | **Р** Препараты формирующие искусственный активный иммунитет |
| **6** Вакцины | **$Е_1$** Водорастворимый витамин, необходим для кроветворения |

### Биология + Физика

Векторами в генетической инженерии называют молекулу нуклеиновой кислоты, которая осуществляет доставку генетического материала в клетки. Векторами чаще всего служат плазмиды (кольцеобразные молекулы ДНК) и молекулы ДНК бактериофагов. Что такое векторы в физике?





## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Здоровье

Картофель – одна из самых популярных в нашей стране культур. К сожалению, немалую часть её урожая утрачивают из-за колорадского жука. Это заставляет земледельцев использовать различные химические средства. Генетическая инженерия поставила цель: создать высокоурожайные и устойчивые к колорадскому жуку сорта картофеля. Примените свои знания и оцените преимущества и возможные риски применения таких сортов картофеля для здоровья человека.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое генетическая инженерия? 2. Кто является отцом генетической инженерии? 3. Назовите основные методы генетической инженерии. 4. Каковы основные этапы генетической инженерии трансгенных организмов? 5. Что такое генотерапия? 6. Что такое ДНК-вакцины? |
| 7 – 9 | 7. Чем генетическая инженерия отличается от классической селекции? 8. Как создаются организмы с новыми признаками? 9. Какова роль генетической инженерии в биотехнологии и медицине? |
| 10 – 12 | 10. Оцените на конкретном примере преимущества и возможные риски применения трансгенных сортов растений для здоровья человека. |

*To be, or not to be, that is the question.*
*В. Шекспир. Гамлет*

# § 65. ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОРГАНИЗМЫ

**Основные понятия и ключевые термины: ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОРГАНИЗМЫ. Генетически модифицированные пищевые продукты.**

**Вспомните!** Что такое генетическая инженерия?

## Подумайте!




В одном из законопроектов Верховной Рады Украины предлагается установить, что субъекты хозяйствования, которые вводят в оборот пищевые продукты с ГМО, должны отражать на этикетке продукта информацию о наличии в них ГМО, если их доля превышает 0,9%. Согласно действующим нормам все пищевые продукты должны маркироваться надписью «С ГМО» или «Без ГМО». Что это за маркировка и для чего её используют?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Как получают генетически модифицированные организмы?

Генетически модифицированные организмы стали реальностью с конца 1970 г., когда появились первые бактерии со встроенными генами инсулина. Это была первая попытка использования ГМО с целью терапии человека белками-продуктами. Для этого в геном кишечной палочки встроили ген человеческого инсулина. В результате неприхотливые и дешёвые в содержании бактерии синтезируют человеческий инсулин.

Генетическая модификация отличается от естественного и искусственного мутагенеза направленностью изменений генотипа. При этом генетический материал переносят из одного организма в другой, применяя ***технологию рекомбинантных ДНК***. Создание рекДНК происходит благодаря ***методам молекулярного клонирования*** – получению многих копий молекулы ДНК *in vivo*. При использовании этих уже классических методов рядом со встроенным геном, как правило, вставляется маркер (например, гены флуоресцентных белков, свечение которых заметно в ультрафиолетовом излучении).

Генетически модифицированные организмы по подавляющему большинству признаков не отличаются от исходных форм, не имеют отклонений, способны к полноценному размножению и, что важно для человека, передают встроенные в них наследственные характеристики следующим поколениям.

Полученные трансгенные организмы выращивают сначала в лаборатории, затем на опытных площадках и после серий обязательных тестов на безопасность, которые продолжаются в течение нескольких лет, рекомендуют к выпуску на рынок.

Итак, **ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОРГАНИЗМЫ** (***трансгенные организмы***) – организмы, имеющие в составе своего генома чужеродные гены других организмов.

## Каково значение генетически модифицированных организмов?

Широкомасштабное использование трансгенных организмов началось в 1996 г. Для охраны природы, в пищевой промышленности, в медицине используются *трансгенные микроорганизмы*, которые:

- разлагают нефть после техногенных катастроф (штаммы метанобактерий);
- синтезируют кормовые белки, лекарства (инсулин, интерфероны);
- продуцируют антибиотики (пенициллины, цефалоспорины, стрептомицины, синтезирующие плесневые грибы из родов Пенициллиум и Цефалоспориум, бактерии рода Стрептомицеты);
- продуцируют закваски для изготовления биокефиров и биойогуртов (штаммы молочнокислых бактерий) и др.

Для нужд сельского хозяйства, медицины, садоводства созданы *трансгенные растения*, среди которых преобладают генетически модифицированные сельскохозяйственные растения: соя (54 %), кукуруза (28 %), хлопок и рапс (по 9 %), картофель (до 1 %). Кроме указанных культур на незначительных площадях выращивают генетически модифицированные сорта помидоров, тыквы, табака, свёклы, льна. Уже созданы, проходят испытания и процедуру регистрации трансгенные сорта риса и пшеницы. Благодаря генетической инженерии получают культурные сорта, устойчивые к насекомым-вредителям (ген эндотоксина бактерий *Bacillus thuringiensis* делает картофель несъедобным для колорадского жука), к гербицидам (гены агробактерий делают их устойчивыми к химическим препаратам), к морозам (бактерии «*ice-minus*», живущие в растениях для предотвращения образования кристаллов льда). Есть и среди трансгенных растений лекарственные и декоративные (*ил. 177*).

Одной из важнейших задач генетической инженерии является создание *трансгенных животных* с повышенной производительностью и устойчивостью к заболеваниям, используемых в животноводстве и медицине. Создаются животные-биореакторы, которые производят продукты медицинского значения. Трансгенные мыши в медицине дают важную информацию о развитии заболеваний, что очень важно для генотерапии. Выведены генетически модифицированные рыбы, которые используются как домашние животные (например, флуоресцентные рыбки данио-рерио (*Danio rerio*)) или в рыбных хозяйствах (*ил. 178*). Так, особи атлантического лосося со встроенным в геном дополнительным гормоном роста от чавычи значительно больше обычных и вдвое быстрее достигают товарной массы.



Ил. 177. В 2004 г. создан генетически модифицированный сорт роз *Blue Moon*





Ил. 178. Атлантический лосось и флуоресцентные аквариумные рыбки данио-рерио

Итак, генетически модифицированные организмы используют в сельском хозяйстве, пищевой промышленности, медицине и охране природы.

**Каковы возможные риски использования генетически модифицированных пищевых продуктов?**

**Генетически модифицированные пищевые продукты** – *это пищевые продукты, полученные из генетически модифицированных организмов*. Безопасны ли продукты с ГМО? Дискуссии по этому поводу не утихают.

Одним из возможных рисков употребления генетически модифицированной пищи рассматривается её потенциальная *аллергенность*. Если ген встраивают в геном организма, то конечным результатом является синтез в растении нового белка, который может быть новым в рационе. Но каждый генетически модифицированный продукт, прежде чем попадёт к потребителю, проходит процедуру оценки его аллергического потенциала. Если продукт в процессе разработки проявляет аллергические свойства, то запрос на коммерциализацию может быть отозван. Например, в 1996 г. компания *Pioneer Hi-Bred* разрабатывала кормовую сою с повышенным содержанием аминокислоты метионина. Для этого использовали ген бразильского ореха, который, как впоследствии оказалось, оказывал аллергическое действие. Аллергия, вызванная белком бразильского ореха (*Bertholletia excelsa*) в модифицированной сое, была такого же характера, как и аллергическая реакция на обычные бразильские орехи. В данном случае всему виной был сильный аллергенный белок ореха.

Существует теоретическая опасность *горизонтального переноса чужих генов* в геном человека. Опыты на мышах показывают, что фрагменты непереваренной ДНК любой пищи могут проникать в кровь, попадать в печень и даже проникать сквозь плацентарный барьер. Но ни одного случая встраивания генов чужеродной ДНК в геном потомства не наблюдалось.

Существует в обществе и мнение о *негативном влиянии трансгенных растений на окружающую среду*. Как пример приводят такое исследование: в лабораторных условиях скармливание пыльцы Bt-кукурузы гусеницам бабочки монарха замедляет рост и повышает смертность личинок. Однако более глубокие и более широкие исследования по оценке риска показали, что влияние пыльцы Bt-кукурузы на популяцию бабочки монарха в природных условиях незначительно.

Таким образом, оценки возможных рисков использования ГМО в обществе преувеличены. Учёные Национальной академии наук США и ещё 11 научных сообществ из разных стран мира, лауреаты Нобелевских премий утверждают, что с научной точки зрения не существует отличий между растениями, полученными с использованием генной инженерии, и растениями, выведенными традиционными методами селекции.

Следовательно, проблемы безопасности и применения ГМО должны решаться на уровне индивидуального продукта – с помощью различных тестов, подтверждающих соответствие исследуемой продукции существующим стандартам и нормам.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний



Недавно учёные вывели генетически модифицированной сорт помидоров. Вследствие высокого содержания антоцианов эти помидоры имели неестественный фиолетовый цвет. У таких помидоров длительный срок хранения, они устойчивы против «серой гнили», показали противораковый эффект в исследованиях на мышах. А почему этот сорт является генетически модифицированным?

### Биология + Сельское хозяйство



Рис золотой – генетически модифицированный сорт риса посевного (*Oryza sativa L.*). Для модификации риса посевного были взяты два гена: ген *psy* от нарцисса (*Narcissus pseudonarcissus*) и ген *crt1* от почвенной бактерии (*Erwinia uredovora*). Растения могут синтезировать и накапливать в эндосперме бета-каротин, который является предшественником витамина А. По данным ЮНИСЕФ, дефицит этого витамина является причиной смерти от 1 до 2 млн человек ежегодно. А каково значение витамина А в организме человека?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Практика

Сравните преимущества и риски использования генетически модифицированных организмов и генетически модифицированных пищевых продуктов и выскажите собственные суждения о возможности использования трансгенных организмов в деятельности человека.

| Преимущества | Возможные риски |
|---|---|
| | |



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Какие организмы являются генетически модифицированными? 2. Приведите примеры ГМО. 3. Приведите примеры веществ (продукции), которые получают из ГМО. 4. Назовите области деятельности человека, в которых ГМО применяется широко. 5. Что такое генетически модифицированные пищевые продукты? 6. Назовите основные риски использования ГМО. |
| 7 – 9 | 7. Как получают ГМО? 8. Каково значение ГМО? 9. Каковы возможные риски использования генетически модифицированных пищевых продуктов? |
| 10 – 12 | 10. Подумайте о возможностях использования трансгенных организмов. |

*Инженерия – отрасль интеллектуальной деятельности по применению достижений науки в решении проблем человечества.*

*Из энциклопедии*

# § 66. КЛЕТОЧНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

**Основные понятия и ключевые термины: КЛЕТОЧНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ. Клонирование организмов.**

**Вспомните!** Что такое биотехнология?

**Новости науки**



Выращивание костей из стволовых клеток – результат исследовательской работы врачей и биологов Донецкого института неотложной и восстановительной хирургии им. В. К. Гусака. Сегодня команда специалистов работает в Киеве, ставя на ноги раненных бойцов. Методику, основанную на клеточной инженерии, разработал В. Оксимец совместно с Д. Зубовым и Г. Васильевым. Что же такое клеточная инженерия?



## СОДЕРЖАНИЕ

### Чем занимается клеточная инженерия?

КЛЕТОЧНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ – *это отрасль науки, задачей которой является создание новых клеток и получение тканей, органов и организмов из клеточного материала*. «Клеточная», так как манипуляции осуществляются с отдельными клетками, а «инженерия» – конструируются новые клетки на основе их гибридизации, реконструкции и культивирования. Преимущества клеточной инженерии: она позволяет экспериментировать с клетками, а не с целыми организмами, а также получать из клеток ткани и организмы с заданными свойствами. Так, в вышеупомянутом примере костную ткань и кости выращивают из стволовых клеток, выделенных из костного мозга или жировой ткани.

Начало стремительного развития клеточной инженерии относят к 1960-м годам, когда были созданы первые гибридные клетки (Б. Эфрусси, Г. Харрис, П. Карлсон) и первые методы конструирования клеток нового типа.

Основные методы современной клеточной инженерии:

- ***метод гибридизации соматических клеток*** – сочетание соматических клеток различных тканей или организмов для получения новых комбинаций признаков;
- ***метод культуры клеток (тканей)*** – выделение и перенос клеток из организма на питательные среды для получения культуры клеток. **Клеточные культуры** – *это генетически однородные популяции клеток, растущих в постоянных условиях среды*. Метод используется для определения мутагенного действия факторов окружающей среды, диагностики заболеваний, картирования хромосом, выращивания стволовых клеток, получения каллюсных культур;

- ***метод слияния эмбрионов на ранних стадиях*** – для создания химерных организмов (например, химерных мышей);
- ***метод клонирования организмов*** – получение с применением бесполым способом размножения клонов, состоящих из генетически однородных клеток.

Итак, клеточная инженерия как научная отрасль занимается конструированием клеток и организмов с заданными свойствами.

## Каковы достижения клеточной инженерии?

Наиболее известным достижением клеточной инженерии являются *технологии моноклональных антител*. Сочетают опухолевые клетки и лимфоциты и получают ***гибридомы***, обладающие свойствами обеих родительских клеточных линий: подобно раковым клеткам они способны неограниченное время делиться, подобно лимфоцитам – синтезировать моноклональные антитела определённой специфичности, применяемые в медицине.

Основной целью современных исследований клеточной инженерии является *технология выращивания органов человека*. В Украине разработаны и применяются в повседневной практике технологии восстановления сосудов, выращивания кожи, костей, хрящей на основе применения стволовых клеток пуповинной крови.

Сочетание клеток различных видов или разных зародышей на ранних стадиях их развития является основой *технологии получения химерных клеток* и *химерных организмов*. Получение и исследование химерных клеток (например, гибридных клеток мыши и курицы, человека и мыши) используют для картирования генов, изучения совместимости тканей при трансплантации органов, выяснения причин возникновения опухолей и др. ***Химерные организмы*** (**химеры**) – *организмы, в которых ткани состоят из наследственно неодинаковых клеток или клеточных систем*. В природе химерные организмы обычно появляются вследствие соматических мутаций или нарушения митоза (природные химеры, называемые мозаиками). Искусственные химеры получают благодаря тканевой трансплантации у животных или прививке у растений.

В фармацевтической промышленности широкое распространение получила *технология растительных клеточных культур* (*ил. 179*). Для этого группу клеток из растения (почки, стебли и т. д.) помещают в стерильную питательную среду, где они «омолаживаются» и начинают усиленно размножаться и расти. В результате разделения клеток возникает своеобразная ткань, которая называется *каллюсной*. Из неё, например, можно вырастить на питательной среде большое количество клеток женьшеня, родиолы розовой, диоскореи, которые являются источником лекарственных веществ.

В селекции растений применяется *технология клонального*



Ил. 179. Получение моркови методом культуры тканей

*микроразмножения растений*. Этим способом из небольших частей растения получают до 1 млн растений в год. Клональное микроразмножение используют для оздоровления и быстрого размножения редких, ценных и вновь созданных сортов культурных растений. Таким путём уже получают картофель, грецкий орех, виноград, садовую землянику, ремонтантные сорта малины, ежевики.

Итак, достижения клеточной инженерии используют для решения широкого круга теоретических и практических проблем биологии, медицины, сельского хозяйства, селекции.

**Почему клонирование организмов является методом клеточной инженерии?**

**Клонирование организмов** (от греч. *клон* – ветвь) – *получение многих идентичных по форме и функциям генетически одинаковых потомков одной клетки или одного организма*. В случае одноклеточных организмов этот процесс достаточно прост. Однако для клонирования многоклеточных организмов нужно приложить гораздо больше усилий. Кроме того, такие клетки развиваются очень медленно в обычных условиях. Основа клонирования – явление ***тотипотентности*** – *способность одной клетки многоклеточного организма давать начало целому новому организму путём деления*. Технология пересадки ядер соматических клеток в яйцеклетку, из которой собственное ядро было изъято, последующего выращивания и получения организма получила широкое применение как *соматическое клонирование*. В 1996 г. генетикам из Рослинского института (Шотландия), удалось создать первое в мире животное путём клонирования – легендарную овцу Долли. При этом учёные использовали клетку молочной железы взрослой овцы в качестве донора ядра, из яйцеклетки изъяли собственное ядро и заменили ядром клетки молочной железы одной и той же овцы. Затем вырастили бластоцисту и пересадили её в матку той же овцы. И эта овца родила «дочку» по имени Долли, которая была клоном материнского организма (*ил. 180*). Была также клонирована трансгенная овца Полли с активным геном одного из факторов свёртывания крови человека, при этом продукт этого гена выделялся с молоком. При клонировании коз были созданы ГМО, в которых активно работал ген человеческого тромбина. Таким образом, клонированные трансгенные организмы могут служить живым «фармацевтическим заводом», который естественным путём производит вещества, используемые для лечения заболеваний человека.

В клеточной инженерии различают ещё *эмбриональное клонирование*. Большой научный интерес представляют исследования с образованием химерных эмбрионов путём объединения бластомеров,




Ил. 180. Последовательность этапов клонирования овцы Долли

взятых из зародышей различных организмов. Учёные уже вырастили первые в мире эмбрионы-химеры, состоящие из клеток человека и свиньи. Эти эмбрионы могут помочь создать технологию выращивания человеческих органов внутри животных.

Итак, клонирование организмов связано с манипуляциями на уровне клеток для получения потомков одной клетки или одного организма.



## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### Задание на применение знаний

| Цитотехнология | Отрасль | Проблемы |
|---|---|---|
| 1. | | |
| 2. | | |

Приведите примеры самых распространённых на сегодня цитотехнологий, отраслей деятельности человека и проблем, на решение которых нацелены эти достижения клеточной инженерии. Заполните таблицу в рабочей тетради.

### Биология + Практика





Как показывает жизнь, в природе возможно все. Например, вот такое милое и симпатичное создание по кличке Венера. Окраска шерсти Венеры создана самой природой. Однако кроме окраски мордочки у Венеры ещё и разные глаза! Один глаз рыжеватый, а другой – небесно-голубой. Как могло появиться в природе такое существо?



## ОТНОШЕНИЕ

### Биология + Наука

Доктор Мичио Кайку в своей работе «Физика будущего» писал: *«В будущем продление жизни не будет зависеть от легендарного фонтана молодости. Вероятно, этого достигнут, сочетая такие методы: выращивание новых органов на замену старых износившихся или заболевших, с помощью клеточной инженерии и стволовых клеток»*. Примените знания и оцените перспективы и последствия развития клеточной инженерии.



## РЕЗУЛЬТАТ

| Оценка | Задания для самоконтроля |
|---|---|
| 1 – 6 | 1. Что такое клеточная инженерия? 2. Назовите методы клеточной инженерии. 3. Приведите примеры цитотехнологии. 4. Кто такие химерные организмы? 5. Что такое клонирование? 6. Приведите примеры клонированных организмов. |
| 7 – 9 | 7. Чем занимается клеточная инженерия? 8. Каковы достижения клеточной инженерии? 9. Почему клонирование организмов является методом клеточной инженерии? |
| 10 – 12 | 10. Каковы перспективы развития клеточной инженерии? |

## Самоконтроль знаний

### Тест-оценивание 9. БИОЛОГИЯ КАК ОСНОВА БИОТЕХНОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ

**I.** Выберите один правильный вариант ответа (*1 балл за правильный ответ*).

**1.** Кто из учёных является автором выражения «*Селекция – это эволюция, которая направляется волей человека*»?

**А** Ч. Дарвин **Б** Н. Вавилов **В** Г. Карпеченко **Г** И. Мичурин

**2.** Что происходит с плодовитостью отдалённых гибридов?

**А** увеличивается **Б** не изменяется
**В** уменьшается **Г** они, как правило, бесплодны

**3.** Почему биологическим следствием родственного скрещивания является ослабление или даже вырождение потомства?

**А** у гомозиготных организмов возрастает вероятность проявления доминантных аллелей
**Б** у гомозиготных организмов увеличивается вероятность проявления летальных аллелей
**В** уменьшение резерва наследственной изменчивости
**Г** усиление генетического потока генов

**4.** Какой термин предложил в 1917 г. венгерский инженер К. Эрек, когда описывал процесс производства свинины?

**А** генотерапия **Б** биотехнология
**В** генная инженерия **Г** химерный организм

**5.** Назовите ферменты для соединения нуклеотидных последовательностей.

**А** лигазы **Б** лиазы **В** ревертазы **Г** рестриктазы

**6.** Технология искусственного оплодотворения для преодоления бесплодия относится к

**А** цитотехнологии **Б** гистотехнологии
**В** эмбриотехнологии **Г** технологии клонирования

**7.** Чем отличаются трансгенные организмы от химерных?

**А** содержат генетически разнородные клетки
**Б** содержат чужеродные для этого вида гены
**В** содержат генетически однородные клетки
**Г** содержат модифицированные клетки организма

**8.** Чем отличается клеточная инженерия от генной?

**А** предполагает вмешательство в генетический аппарат и создаёт реДНК
**Б** не предполагает вмешательство в генетический аппарат и создаёт рекомбинантные клетки
**В** не предполагает вмешательство в генетический аппарат и создаёт реДНК
**Г** предполагает вмешательство в генетический аппарат и создаёт рекомбинантные клетки

**II.** **Установите соответствие** (*2 балла*):

**9.**

| Центр происхождения растений | Виды растений |
|---|---|
| **1** Средиземноморский | **А** Вишня, яблоня, соя |
| **2** Переднеазийской | **Б** Груша, абрикос, горох |
| **3** Среднеазиатский | **В** Дыня, виноград, инжир |
| **4** Китайский | **Г** Маслины, свёкла, лук |

**10.**

| Название межвидового гибрида | Виды, которые его образовали |
|---|---|
| **1** бистер | **А** гибрид между львом-самцом и тигрицей-самкой |
| **2** лигр | **Б** гибрид между самкой осла и самцом лошади |
| **3** мул | **В** гибрид белуги и стерляди |
| **4** ишак | **Г** гибрид между самкой лошади и ослом-самцом |

# ОБОБЩЕНИЕ КУРСА

***Аксиомы – это концентрированный опыт человечества.***
*Б. М. Медников*

*Аксиома* (от греч. *аксиома* – общепринятое) – основные исходные положения теории, принимаются без доказательств и из которых логическими средствами получают всё остальное её содержание. В переносном смысле то, что не требует никаких доказательств. Биология также имеет свои аксиомы, которые определяют общие свойства биологических систем

1. Все живые организмы представляют собой единство фенотипа и программы для его построения (генотипа), которая передаётся по наследству из поколения в поколение (аксиома А. Вейсмана).
2. Генетическая программа создаётся матричным путем. Матрицей, на которой выстраивается ген будущего поколения, служит ген предыдущего поколения (аксиома Н. Кольцова).
3. В процессе передачи из поколения в поколение генетические программы по разным причинам изменяются случайно и ненаправленно, и только случайно такие изменения могут оказаться удачными в данной среде (1-я аксиома Ч. Дарвина).
4. Случайные изменения генетических программ в процессе становления фенотипа многократно усиливаются (аксиома Н. В. Тимофеева-Ресовского).
5. Многократно усиленные изменения генетических программ подвергаются отбору, осуществляемому условиями внешней среды (2-я аксиома Ч. Дарвина).

Живые организмы имеют признаки и свойства, которых нет в большинстве неживых систем. Подавляющее большинство из них в отдельности случаются и в неживых системах. Однако только вместе взятые, они характеризуют особую форму движения материи – жизнь. Перечислим основные свойства и признаки живого на основе структурно-функционального подхода.

| Основные общие свойства живых систем | |
|---|---|
| **Структурная организация** | **Функциональная организация** |
| 1. Единство химического состава<br>2. Клеточное строение<br>3. Уровневость<br>4. Дискретность (прерывность) – живые системы состоят из отдельных частей<br>5. Целостность – биосистемы являются единым целым взаимосвязанных и взаимодействующих частей | 1. Обмен веществ, энергии и информации<br>2. Саморегуляция<br>3. Самовоспроизведение<br>4. Самообновление<br>5. Рост<br>6. Индивидуальное развитие (онтогенез)<br>7. Раздражительность<br>8. Приспособленность<br>9. Историческое развитие (филогенез) |

Живой материи присущи разные уровни организации её структур, между которыми существует сложное соподчинение. Выделяют следующие основные структурные уровни жизни.



***Молекулярный уровень.*** Какой сложной не была бы живая система, в конечном итоге в её состав входят биологические макромолекулы. Именно здесь проходит граница между живым и неживым. С этого уровня начинаются процессы жизнедеятельности: обмен веществ и превращение энергии, передача и реализация наследственной информации и др.

***Клеточный уровень.*** Клетка является структурной и функциональной единицей всех живых организмов, а также единицей их развития. На этом уровне сочетаются процессы превращения веществ и энергии, а также процессы передачи и реализации наследственной информации.

***Организменный уровень.*** Элементарной единицей этого уровня является особь. Ткани, органы и системы органов существуют не сами по себе. Возникая и формируясь в процессе онтогенеза, они специализируются на выполнении определённых функций, совместно обеспечивают существование организма как единого целого. Таким образом онтогенетический уровень обеспечивает существование особи в процессе индивидуального развития, то есть от момента зарождения до прекращения существования.

***Популяционно-видовой уровень.*** Объединение особей в популяции, а популяций – в виды приводит к появлению новых свойств, отличных от свойств предыдущих уровней организации. Популяции и виды как надорганизменные образования могут существовать в течение длительного времени, а также способны к самостоятельному историческому развитию. На этом структурном уровне организации живой материи непосредственно начинается процесс эволюции органического мира.

***Экосистемный уровень.*** Популяции различных видов всегда сосуществуют в определённой среде, содержащей как биотические, так и абиотические компоненты. Такое сочетание организмов разных видов и различной сложности организации с факторами среды их обитания представляет собой биогеоценоз (экосистему), которая является ареной эволюционных преобразований.

***Биосферный уровень.*** Экосистемы, соединяясь, образуют биосферу – систему, которая охватывает все явления жизни на Земле. На этом уровне происходят биологический круговорот веществ и превращения энергии, связанные с жизнедеятельностью всех организмов.

Каждый из перечисленных уровней имеет свои закономерности и методы исследования, следовательно, является весьма специфическим. То, что можно выделить определённые уровни организации жизни, свидетельствует об её дискретности. В то же время все эти уровни тесно связаны между собой, что свидетельствует о ЕДИНСТВЕ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ.

## СОДЕРЖАНИЕ